



**Rodrigo
Miranda Mingatos**

**Ferramentas Estatísticas Aplicadas à Melhoria da
Qualidade dos Fornos de Vapor**



**Rodrigo
Miranda Mingatos**

**Ferramentas Estatísticas Aplicadas à Melhoria da
Qualidade dos Fornos de Vapor**

Relatório de projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão, pelo apoio em todos os níveis e por permitirem-me chegar até aqui e escrever este documento.

o júri

presidente

Professor Doutor Carlos Manuel Santos Ferreira
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

arguente

Professor Doutor Cristovão Silva
Professor auxiliar da Universidade de Coimbra

orientadora

Professora Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Tenho de demonstrar a minha gratidão ao Eng. João Carvalho, ao Eng. José Neves e à Professora Dr. Helena Alvelos, pela oportunidade e apoio técnico na realização deste trabalho.

Agradeço a todo o grupo do Departamento de Qualidade da Teka Portugal, pela paciência, companheirismo e ensinamentos que deram-me ao longo dos nove meses de estágio. Como primeira experiência profissional e primeiro contacto com o mundo industrial foi muito importante para mim a forma como receberam-me e integraram-me no grupo de trabalho.

Agradeço também aos colaboradores de todos os departamentos, linhas de montagens e linhas de produção da Teka Portugal que sempre estiveram presente quando necessitei.

Obrigado a toda família, amigos de infância, amigos de curso e à Teka Portugal por terem-me feito crescer como Homem e Profissional até ao momento.

palavras-chave

Qualidade, Estatística, Variabilidade, Fornos de Vapor.

Resumo

No presente estudo analisa-se a variabilidade na produção dos fornos de vapor da Teka Portugal e potenciais causas para a existência de fuga de vapor de água nos fornos de vapor. Para tal, recorre-se primeiramente a técnicas da estatística descritiva; da inferência estatística, nomeadamente testes de hipóteses; e de algumas ferramentas básicas da qualidade, como gráficos e histogramas, de forma a organizar e simplificar os dados e identificar as possíveis causas e componentes críticos, que têm induzido às falhas de fugas de vapor de água e o problema do aspecto estético do forno. Seguidamente recorre-se a técnicas da estatística multivariada, como a análise de variância e análise factorial com o objectivo de encontrar pontos da porta e frente do forno potencialmente críticas e reduzir os pontos a medir. Foram detectadas algumas irregularidades em componentes que interferem na planidade.

keywords

Quality, Statistics, Variability, steam ovens

abstract

In this study the variability on the production of steam ovens by Teka Portugal and potential causes for the existence of steam leaks in these ovens are analyzed. For that, techniques of descriptive statistics; statistical inference, namely hypothesis tests; and some basic quality tools, such as graphics and histograms in order to organize and simplify data and identify possible causes and critical components, which have induced to failures of steam leaks and the problem of the oven aesthetic aspect. Next, other techniques of multivariate statistics such as the variance analysis and factor analysis were used, with the aim to find points on the door and front of the oven that can be potentially critical and reduce the points to measure. Some irregularities were identified on components that interfere in the planity.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Relevância do Estudo	1
1.2	Objectivos	1
1.3	Estrutura da Tese	2
2	A Qualidade e a Variação	3
2.1	Oito Princípios da Qualidade	4
2.2	Variabilidade do Processo e as suas Causas	7
2.3	Sete Ferramentas Básicas da Qualidade	7
2.3.1	Fluxogramas	9
2.3.2	Diagrama de Causa-Efeito	9
2.3.3	Formulários de Recolha de Dados	10
2.3.4	Diagrama de Pareto	10
2.3.5	Histogramas	11
2.3.6	Gráficos	12
2.3.7	Cartas de Controlo	12
2.4	Técnicas Estatísticas Aplicadas à Qualidade	13
2.4.1	Métodos de Análise Estatística	14
2.4.2	Estatística Descritiva	15
2.4.3	Inferência Estatística	17
2.4.4	Capacidade do Processo	20
2.4.5	Estatística Multivariada	22
3	O Caso dos Fornos de Vapor TEKA	29
3.1	Apresentação da Empresa	29
3.2	Departamento de Qualidade	30
3.3	O Forno de Vapor TEKA	31
3.4	Metodologia Seguida no Estudo	33
3.5	Identificação dos Componentes Críticos	34
3.6	Recolha e Tratamento dos Dados	41
3.7	Análise dos Resultados	43
3.7.1	Plano da Frente do Forno	43
3.7.2	Plano de Assentamento das Dobradiças	54
3.7.3	Plano das Laterais do Forno	57
3.7.4	Plano da Porta	60
3.7.5	Força das Dobradiças	69
3.7.6	Conjunto Forno e Porta	71
4	Outras Actividades Desenvolvidas	77
5	Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro	78
	Referências Bibliográficas	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabela para formulação de hipóteses	18
Tabela 2 - Dimensões de amostras para cada técnica	28
Tabela 3 - Dimensão das amostras	43
Tabela 4 - Estatísticas descritivas para os dados do plano da frente	45
Tabela 5 - Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano da frente	47
Tabela 6 - Teste Tukey para o plano da frente	49
Tabela 7 - Variância total explicada (plano da frente)	50
Tabela 8 - Matriz dos componentes rodada (plano da frente)	51
Tabela 9 - Estatísticas descritivas para os dados do plano de assentamento da dobradiça .	55
Tabela 10 - Teste K-S e estatísticas descritivas para pontos do plano de assentamento da dobradiça	56
Tabela 11 - Teste Tukey para o plano de assentamento da dobradiça	57
Tabela 12 - Estatísticas descritivas para os dados do plano das laterais	58
Tabela 13 - Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano das laterais	59
Tabela 14 - Teste Tukey para o plano das laterais	60
Tabela 15 - Estatísticas descritivas para os dados das portas	63
Tabela 16 - Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano da porta	65
Tabela 17 - Teste Tukey para o plano da porta	66
Tabela 18 - Variância total explicada (plano da porta)	66
Tabela 19 - Matriz dos componentes rodada (plano da porta)	67
Tabela 20 - Estatística descritiva para os dados da força da dobradiça	70
Tabela 21 - Resultados para as fugas nos fornos	75
Tabela 22 - Número de fornos em que ocorrem valores máx. e mín. dos pontos em cada plano	76

Lista de Figuras

Figura 1 - Ciclo PDCA de Deming	8
Figura 2 - Representação de um fluxograma simples	9
Figura 3 - Exemplo de diagrama de causa e efeito	10
Figura 4 - Figura de possíveis histogramas	12
Figura 5 - Representação de uma distribuição normal	13
Figura 6 - Algumas ocorrências possíveis para os índices de capacidade	21
Figura 7 - Organigrama do Departamento de Qualidade	30
Figura 8 - Forno de Vapor TEKA	31
Figura 9 - Fluxograma da linha de montagem do Forno de Vapor	32
Figura 10 - Diagrama de causa e efeito para a fuga de vapor	35
Figura 11 - Dobradiça e representação da sua montagem.....	36
Figura 12 - Dinamómetro.....	37
Figura 13 - Figura do forno com e sem perfil de silicone	37
Figura 14 - Porta do forno de vapor	38
Figura 15 - Representação dos pontos a medir no plano da porta.....	38
Figura 16 - Carcaça do forno de vapor.....	39
Figura 17 - Representação dos pontos a medir no plano da frente da carcaça.....	39
Figura 18 - Planos de assentamento da dobradiça e extremidade da carcaça	40
Figura 19 - Medidor tridimensional	41
Figura 20 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano da frente.....	44
Figura 21 - Histograma dos dados do plano da frente.....	46
Figura 22 - Comparação média nos pontos interiores e exteriores do plano da frente	48
Figura 23 - Pontos do plano da frente que se relacionam entre si.....	52
Figura 24 - Pontos necessários medir para o plano da frente.....	53
Figura 25 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano de assentamento da dobradiça .	54
Figura 26 - Histograma dos dados do plano das dobradiças	56
Figura 27 - “Caixas de bigodes” para os pontos do plano das laterais.....	57
Figura 28 - Histograma dos dados do plano da lateral direita.....	59
Figura 29 - Histograma dos dados do plano da lateral esquerda.....	59
Figura 30 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano perímetro central das portas	61
Figura 31 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano perímetro exterior das portas...	61
Figura 32 - Variação média dos pontos em cada forno para os dois perímetros.....	62
Figura 33 - Histograma dos dados do plano da Porta (Central)	64
Figura 34 - Histograma dos dados do plano da Porta (Exterior).....	64
Figura 35 - Pontos com comportamento semelhantes no plano da porta.....	68
Figura 36 - Pontos necessários medir para o plano da porta.....	69
Figura 37 - Valores para a força das dobradiças	69
Figura 38 - Histograma dos dados da força da dobradiça	70
Figura 39 - Gráfico das médias das cotas em cada ponto da porta e frente do forno.....	72
Figura 40 - Gráfico das diferenças entre as médias das cotas em cada ponto da porta e frente.....	73
Figura 41 - Pontos do conjunto porta e frente do forno	73
Figura 42 - Representação dos pontos críticos do conjunto.....	74

1 Introdução

1.1 Relevância do Estudo

Em processos industriais complexos, onde o número de variáveis que afectam os processos produtivos e a variabilidade dos dados são elevadas, a medição e o controlo dos factores críticos de qualidade podem tornar-se morosos e, em termos de recursos, inviáveis.

É importante numa empresa ter noção dessas variáveis e ter um certo controlo sobre a variabilidade dos processos. Existem, porém, técnicas estatísticas que permitem simplificar este tipo de investigação, quer através da redução do volume de dados, quer da identificação das relações entre as diferentes variáveis (Teixeira, Mingatos e Alvelos, 2009).

1.2 Objectivos

O objectivo principal deste projecto é o de estudar a variabilidade na produção dos fornos de vapor da Teka. Adicionalmente estudam-se as potenciais causas da referida variabilidade.

Ao longo do trabalho recorre-se às ferramentas da qualidade, como por exemplo gráficos, histogramas, diagrama causa-efeito, à estatística descritiva, à inferência estatística e à estatística multivariada, com o objectivo de identificar causas que têm induzido falhas de fugas de vapor de água.

É também objectivo deste estudo desenvolver uma metodologia simples e de fácil aplicação em outros problemas no âmbito de análise de cotas que surjam na empresa, de forma a dar uma resposta rápida e correcta ao problema e aumentar o desempenho do processo produtivo.

1.3 Estrutura da Tese

A tese é constituída por cinco capítulos. No primeiro capítulo, *Introdução*, é feita uma breve descrição da relevância do estudo para a indústria e dos principais objectivos a atingir.

O segundo capítulo, *A Qualidade e a Variação*, incide numa introdução teórica sobre a qualidade e variação no processo produtivo, referenciando as ferramentas que serão utilizadas no caso de estudo. Inicialmente abordam-se os princípios da qualidade, seguindo-se uma breve referência às sete ferramentas básicas da qualidade. Seguidamente explica-se a noção de capacidade do processo, e referem-se as técnicas de estatística descritiva, inferência estatística e estatística multivariada, aplicadas no presente estudo.

O terceiro capítulo, *O Caso dos Fornos de Vapor TEKA*, consiste numa breve apresentação da empresa, do departamento de qualidade e do produto em estudo. Após essas apresentações destaca-se a metodologia que será seguida no estudo, em que numa primeira fase se efectua o levantamento dos componentes críticos, numa segunda fase a recolha de dados e a forma como é realizada, numa terceira fase o tratamento de dados e os métodos utilizados, e por fim a análise dos dados e apresentação dos resultados obtidos.

No quarto capítulo, *Outras Actividades Desenvolvidas*, apresentam-se actividades que foram desenvolvidas na Teka para além das actividades do âmbito deste estudo.

Finalmente, o quinto capítulo é reservado às *Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro* do caso em estudo.

2 A Qualidade e a Variação

O conceito de Qualidade tem evoluído significativamente nas últimas décadas de forma a integrar-se progressivamente nos novos paradigmas de gestão.

Actualmente, Qualidade é sinónimo da procura contínua de melhoria em todas as vertentes, desde a política e estratégia da organização até aos indicadores financeiros mais relevantes, passando pelos resultados obtidos a nível da satisfação dos colaboradores, dos clientes, dos accionistas e da sociedade em geral. Neste contexto, que pressupõe o envolvimento de todos, a qualidade tem de estar necessariamente em todos os processos, incluindo os que relacionam com o ambiente, a segurança e as condições de trabalho, o que contribui decisivamente para o aumento da produtividade e da competitividade das organizações de grande ou pequena dimensão. A utilização dos princípios, métodos, e técnicas da Qualidade têm demonstrado um aumento da produtividade, fidelização do cliente e redução de custos nas organizações.

Não obstante os desenvolvimentos notáveis registados durante todo o século XX, foi apenas em 1987 que apareceu o primeiro referencial internacional sobre Sistema da Qualidade, as normas da série ISO 9000 (International Organisation for Standardization), que sofreram alterações em 1994 e em 2000 (Pereira e Requeijo, 2008).

Hoje em dia, em qualquer sector ou área ter qualidade tornou-se indispensável. Durante um largo período de tempo, não existiam noções como percepção de valor, satisfação do cliente, relação preço/propriedades de um determinado produto. O objectivo da economia era a produção em massa, em resposta à descomunal procura. Secundarizava-se a análise à eficácia e à especificidade do que era produzido. Esta situação não podia durar para sempre: por um lado as pessoas cansaram-se de produtos que não correspondiam ao que procuravam, e por outro lado a competitividade exigia uma dinâmica activa. Se o cliente paga para obter um produto, é natural que exija certas propriedades desse mesmo produto. Passou a haver distinções e comparações e alterou-se o modo de produção para ir ao encontro da expectativa do cliente.

2.1 Oito Princípios da Qualidade

O Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) dirige e controla uma organização no que diz respeito a implementação da política da qualidade. A norma ISO 9000 define fundamentos e vocabulários de um Sistema de Gestão de Qualidade, requisitos necessários para ser certificada e satisfazer os clientes e ainda linhas de orientação para a melhoria de desempenho. É guiada pelos oito princípios da qualidade, que se enunciam seguidamente:

1. Focalização no cliente

De acordo, com o primeiro princípio, “as organizações dependem dos seus clientes e, consequentemente, convém que compreendam as suas necessidades actuais e futuras, satisfaçam os seus requisitos e se esforcem por exceder as suas expectativas” (NP EN ISO 9004:2000).

O conceito de “cliente” deverá ser considerado numa perspectiva abrangente, de acordo, com a definição 3.3.5 da ISO 9000:2000, contemplando, não apenas os clientes directos ou os consumidores, mas também outras partes interessadas (ex. os colaboradores, os fornecedores, os accionistas, o Estado e a Sociedade, a comunidade envolvente, entre outros).

2. Liderança

Na norma ISO 9000:2000 pode ler-se, “os líderes estabelecem a finalidade e a orientação da organização. Convém que criem e mantenham o ambiente interno que permita o pleno desenvolvimento das pessoas para se atingirem os objectivos da organização” (NP EN ISO 9004:2000).

3. Envolvimento das pessoas

“As pessoas em todos os níveis são a essência de uma organização e o seu pleno envolvimento permite que as suas aptidões sejam utilizadas em benefício da organização” (NP EN ISO 9004:2000).

A comunicação, a consciencialização e a formação das pessoas são factores fundamentais para que as mesmas se revejam no SGQ e compreendam qual o seu contributo, de forma a potenciar o seu comprometimento e envolvimento, proporcionando as competências necessárias para a realização das funções que lhes são atribuídas.

4. Abordagem por processos

O quarto princípio esclarece que “um resultado desejado é atingido de forma mais eficiente quando as actividades e os recursos associados são geridos como um processo” (NP EN ISO 9004:2000).

Uma organização existe para transformar “inputs” como por exemplo materiais, energia, informação, em “outputs” como os produtos e/ou serviços que são fornecidos aos seus clientes, e ao fazê-lo acrescentam valor.

5. Abordagem da gestão como um sistema

“Identificar, compreender e gerir os processos inter-relacionados como um sistema, contribui para que a organização atinja os seus objectivos com eficácia e eficiência” (NP EN ISO 9004:2000).

Este propósito é atingido por meio de uma série de processos inter-relacionados e esses devem ser controlados e geridos, mesmo que sejam obtidos no exterior ou subcontratados a terceiros, incluindo as subsidiárias da própria organização, parcerias ou filiais.

A revisão dos referenciais normativos ISO 9000 promove um papel mais interventivo da gestão de topo das organizações e potencia uma alteração na ênfase ao nível das responsabilidades e autoridades definidas no âmbito de um sistema de gestão da qualidade: da área da qualidade para a gestão de topo, com o envolvimento de todos.

6. Melhoria contínua

De acordo com o sexto princípio “Convém que a melhoria contínua do desempenho global de uma organização seja um objectivo permanente dessa organização” (NP EN ISO 9004:2000).

Essa melhoria contínua não pode ser baseada apenas na resolução de problemas identificados mas também deve contemplar as possibilidades de melhorar os resultados do sistema e a antecipação das expectativas de mercado cada vez maiores.

7. Abordagem à tomada de decisões baseada em factos

“As decisões eficazes são baseadas na análise de dados e de informações” (NP EN ISO 9004:2000).

Entre outros aspectos mais operacionais do SGQ (como a definição de acções correctivas e preventivas, o estabelecimento de programas de auditorias, a revisão pela gestão, a identificação de oportunidades de melhoria entre outros), o estabelecimento de estratégias políticas e objectivos deve ser suportado na análise de dados e informações relevantes de origem interna ou externa à organização.

8. Relações mutuamente benéficas com fornecedores

Entre as partes interessadas no desempenho de uma organização, a ISO 9000:2000 destaca, neste oitavo princípio que “uma organização e os seus fornecedores são interdependentes e uma relação de benefício mútuo potencia a aptidão de ambas as partes para criar valor” (NP EN ISO 9004:2000).

2.2 Variabilidade do Processo e as suas Causas

Mesmo que o processo esteja bem desenvolvido e implementado, existem sempre fontes de variação que o afectam durante um curto ou longo prazo, causando maiores ou menores variações. Não existem dois produtos exactamente iguais, porque qualquer processo é afectado por diversas fontes de variação. Existe então, uma distinção entre as causas de variação que podem ser causas comuns ou causas especiais (Vieira, 2001).

As causas comuns, que também podem ser designadas por causas naturais ou aleatórias, são imprevisíveis e quase impossíveis de resolver, como por exemplo a flutuação de corrente eléctrica ou variação de temperatura ambiente. A sua redução só é possível através da decisão dos gestores como a mudança de fornecedores, equipamentos ou métodos de trabalho (Pereira e Requeijo, 2008).

As causas especiais ou assinaláveis são esporádicas e quando surgem causam variações bastante superiores das causas comuns, como por exemplo o corte de energia, aquecimento da ferramenta, equipamentos de medição descalibrados, operador inexperiente, etc. Quando ocorrem exige uma intervenção imediata por parte dos responsáveis do processo (Pereira e Requeijo, 2008).

2.3 Sete Ferramentas Básicas da Qualidade

As ferramentas da qualidade possuem um elevado impacto visual e é muito simples de representa-las, pois só requerem papel, caneta, criatividade, imaginação e empenho por parte de quem as utiliza. São eficazes e suficientes na resolução da maior parte dos problemas de uma empresa. Estas estimulam e ajudam a construir uma abordagem estruturada para a recolha de informação, respectiva análise e correspondentes tomadas de decisão em torno dos processos, podendo ser utilizadas por todos dentro da empresa. Contudo, possuir muitos dados não significa informação útil e se os dados não forem tratados e analisados não têm qualquer valor ou serventia.

Para identificar os factores de variação utilizam-se os diagramas de Causa-Efeito. Seguidamente, para a distribuição dos dados por Factores de Variação temos as folhas de Registo/Verificação, Análise de Pareto, Histograma e Cartas de Controlo.

Para implementar melhoria de qualidade nas empresas é importante adoptar uma abordagem do tipo PLAN-DO-CHECK-ACT, baseando-se no já conhecido Ciclo de Deming. PDCA significa Planear, Fazer, Verificar, Agir e os seus processos incluem o retorno obtido do controlo de processos, avaliações de produto e indicadores da satisfação de clientes, a fim de determinar a necessidade de um maior ou menor controlo.



Figura 1 - Ciclo PDCA de Deming
(www.huerta.com.br/iso_9000/pdca.htm)

Plan: Estabelecer os objectivos e os processos necessários para apresentar resultados de acordo com os requisitos do cliente e as políticas da organização.

Do: Implementar os processos.

Check: Monitorizar e medir os processos e produtos em comparação com políticas, objectivos e requisitos do produto e reportar os resultados.

Act: Empreender acções para melhorar continuamente o desempenho do processo.

A resolução estruturada baseia-se neste ciclo e é constituído pelas seguintes fases: identificação do problema que inclui a sua definição, descrição e caracterização. Seguidamente realiza-se a sua análise, onde é elaborada uma listagem das potenciais causas e as quais serão mais críticas. Por fim, vem a resolução do problema em que se desenvolve, implementa e monitoriza a melhor solução.

2.3.1 Fluxogramas

Os fluxogramas têm como objectivo realçar as várias etapas de um processo, utilizando uma simbologia universal e sequencial, para que dentro de uma organização o possam compreender e interpretar. São utilizados para identificar os problemas de um processo, nomeadamente os de fabrico e administrativos, procedimentos operativos e funcionamento de sistemas. Devem ser periodicamente actualizados através de um trabalho de equipa.

Têm a vantagem de permitir, clarificar e estruturar processos para optimização e redução de ciclos temporais, dar maior visão e conhecimento dos processos por parte da organização. Assim, identificam potenciais causas e origens para certos problemas bem como as actividades que criem valor para a empresa e estimulam o trabalho em equipa.

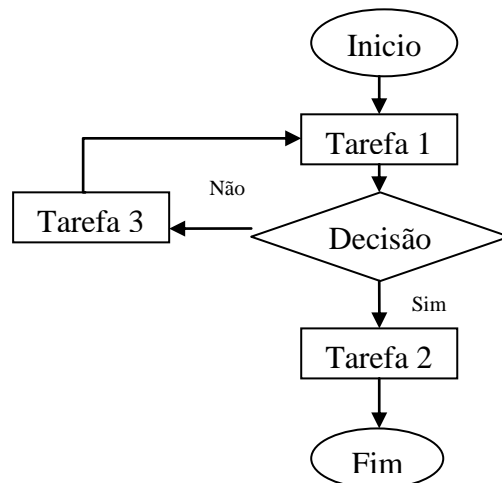


Figura 2 - Representação de um fluxograma simples

2.3.2 Diagrama de Causa-Efeito

O diagrama de Causa-Efeito, também conhecido por Diagrama de Espinha de Peixe ou de Ishikawa é também uma ferramenta útil para identificar problemas num processo. Esta ferramenta agrupa em geral os problemas numa das cinco categorias: problemas derivados de materiais, métodos de trabalho, mão-de-obra, máquinas e meio ambiente.

Para construir um diagrama é necessário definir claramente o problema, identificar as suas causas, seleccionar as mais prováveis, definir e implementar acções correctivas e por fim avaliar a eficácia das acções implementadas.

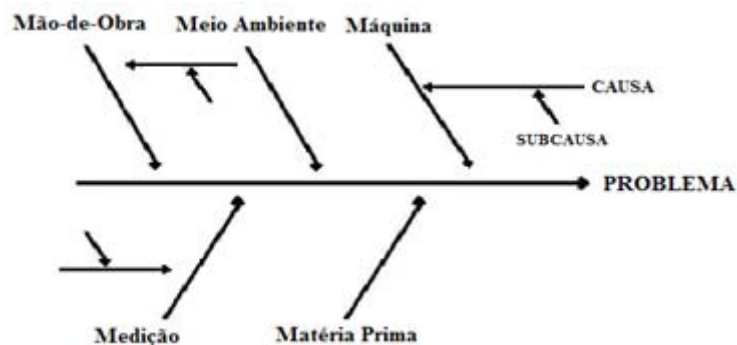


Figura 3 - Exemplo de diagrama de causa e efeito

2.3.3 Formulários de Recolha de Dados

Os formulários de recolha de dados, também conhecidos por folhas de registo e verificação, consistem em obter registo de dados relacionados para identificar os possíveis problemas e suas causas num processo. A folha de registo deve ter o formato adequado ao que se pretende e pode conter dados como características de produto ou serviço, parâmetros do processo, ocorrência de defeitos e reclamações.

2.3.4 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é constituído por um gráfico de frequências ordenadas de forma decrescente e uma curva acumulativa. Este ilustra, por ordem de importância, a contribuição de cada causa para o problema em análise, permitindo actuar nas causas que sejam mais críticas, evitando desperdícios de esforço e tempo na resolução das causas menos importantes.

Para a sua construção é necessário recolher os dados previamente definidos, classificar os dados obtidos em categorias, calcular e ordenar a frequência relativa de cada categoria, representar o gráfico com as categorias no eixo horizontal e as percentagens no eixo vertical, e por fim traçar a curva acumulativa das frequências.

2.3.5 Histogramas

Quando observamos uma listagem de valores numéricos temos dificuldades em visualizar qualquer inter-relação entre os mesmos, o histograma ajuda-nos a fazer essa interpretação e permite concluir sobre a natureza de três características de uma distribuição de dados, que são: a forma simétrica ou assimétrica, a posição da média e a dispersão / concentração de dados. As distribuições de dados serão explicadas mais adiante, no capítulo 2.4.1.

Para construir um histograma é necessário:

1. Conhecer a amplitude (R), que é a diferença entre o maior e o menor valor presente nos dados.
2. Agrupar os dados em classes, em que o número de classes pode ser definido como a parte inteira da \sqrt{n} , em que n representa o número de dados.
3. Obter-se os intervalos de classes dividindo a amplitude pelo número de classes.
4. Registrar as ocorrências dentro de cada intervalo de classe.

Interpretação de Histogramas

Os histogramas devem ter uma tendência central simétrica / unimodal, caso seja assimétrico / bimodal (com vários picos), pode significar que estão a misturar-se valores provenientes de distribuições diferentes, como de diferentes máquinas ou operadores.

Se o histograma apresentar distribuição com 2 picos ou com ilhas remotas, pode significar que estão incluídas amostras provenientes de populações diferentes. Se a distribuição for cortada à esquerda, os valores cortados foram excluídos por estarem fora dos limites

estipulado por exemplo. Caso a distribuição tenha falta de dados entre as classes, significa que o método de medição não é o ideal ou os intervalos de classes foram mal definidos (Pereira e Requeijo, 2008).

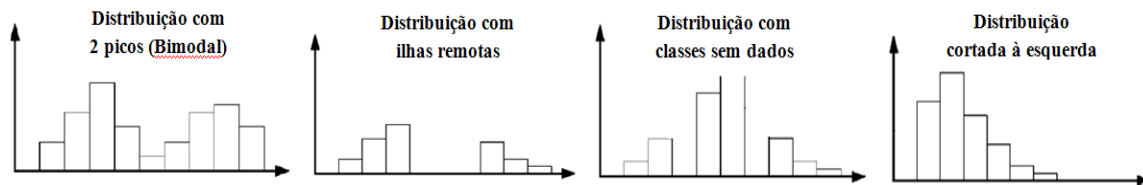


Figura 4 - Figura de possíveis histogramas

2.3.6 Gráficos

Os gráficos são a forma mais simples e rápida de representar visualmente um conjunto de dados, facilitando a interpretação do seu significado. Para a análise da relação entre duas variáveis temos os gráficos de dispersão simples, para representar a variação de uma variável ao longo do tempo utilizam-se os gráficos de tendência.

2.3.7 Cartas de Controle

Carta de controlo é uma ferramenta estatística utilizada para o acompanhamento durante um processo. Consiste num gráfico que mostra a evolução ao longo do tempo de uma estatística referente a uma determinada característica da qualidade.

Define uma faixa chamada de tolerância limitada pela linha superior (limite superior de controlo) e uma linha inferior (limite inferior de controlo) e uma linha média do processo, que foram estatisticamente determinadas.

Realizada em amostras extraídas durante o processo, supõe-se a distribuição normal das características da qualidade. O objectivo é verificar, através de um gráfico, se o processo está sob controlo e fornecer informação credível acerca da necessidade de aplicar acções correctivas.

Um processo diz-se “sob controlo” quando só existirem causas aleatórias de variação e “fora de controlo” quando se verifica a presença de causas especiais.

Para elaborar as Cartas de Controlo é necessário calcular os *Limites de Controlo*. Assumindo que os dados são uniformemente distribuídos, os limites de controlo são calculados utilizando as leis da probabilidade. Se um ponto se situar fora dos limites de controlo, significa que tal é devido a causas especiais de variação e por isso não pertence à distribuição que se está a controlar.

Num processo sob controlo, tanto podem existir muitas peças defeituosas como poucas. O importante é que a distribuição de defeituosas seja estável ao longo do processo, se assim for o processo encontra-se sob controlo (Pereira e Requeijo, 2008).

2.4 Técnicas Estatísticas Aplicadas à Qualidade

Antes de enunciar algumas técnicas aplicadas à qualidade é importante compreender Distribuição Estatística. Existem vários tipos de Distribuição Estatística, como por exemplo a Binomial, a Poisson, a Gaussiana, a Uniforme, e a Exponencial.

Uma das distribuições mais utilizada é a Distribuição Normal ou de Gauss, a qual é simétrica e apresenta uma forma semelhante à de um sino, como representada na figura seguinte (Pereira e Requeijo, 2008).

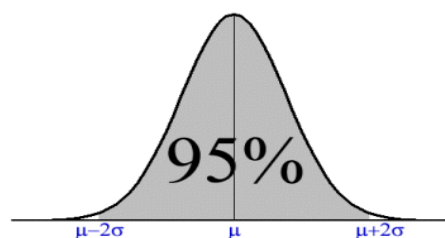


Figura 5 – Representação de uma distribuição normal

A representação gráfica da figura 5 significa que a média mais ou menos dois desvio padrão é o intervalo que contém 95% dos dados da amostra.

A distribuição Binomial é uma distribuição discreta e utiliza-se quando se pretende analisar amostras resultantes de uma população muito grande ou infinita e cada experiência corresponde um dos dois tipos de resultados, sucesso ou insucesso. Os resultados associados a cada experiência são independentes (Pereira e Requeijo, 2008).

A distribuição de Poisson é uma distribuição discreta e mede o número de ocorrências por unidade de tempo. A variável aleatória X representa o número de ocorrências num determinado intervalo. O intervalo pode se referir a tempo, distância, área, volume, ou algum tipo de medida similar (Vasconcelos, 2007).

A distribuição binomial é caracterizada pela dimensão da amostra n e pela probabilidade de sucesso p , enquanto que a distribuição de Poisson é caracterizada apenas pela média μ . Numa distribuição binomial, os valores que a variável aleatória X pode tomar são $0, 1, \dots, n$, enquanto que na distribuição de Poisson a variável X toma os valores $0, 1, \dots$, sem limite superior (Vasconcelos, 2007).

2.4.1 Métodos de Análise Estatística

O método para analisar um problema deve ser seguido mediante 5 fases (Vasconcelos, 1999):

I. Estabelecer o objectivo da análise e definição da população pretendida.

Um bom trabalho nesta fase implica despende menos esforço nas fases seguintes e a qualidade das soluções será maior.

II. Criação de um procedimento para a selecção da amostra.

As amostras podem ser recolhidas da população de forma aleatória ou através de probabilidades, ou seja, calcular a probabilidade de cada elemento da população ser incluído na amostra. Para além dessas, temos ainda a amostragem por conveniência.

III. Recolha de dados.

Os dados podem ser recolhidos pelo próprio analista e neste caso os dados são primários, ou podem ser recolhidos por outra organização e aí designam-se de dados secundários. Uma amostragem pode ser obtida por observação ou questionários telefónicos, entrevistas directas, e-mails, etc.

IV. Análise dos dados.

Através da estatística descritiva sintetiza-se a informação dos dados.

V. Utilizar a inferência estatística para chegar a população.

Retira-se conclusões relativas a população com base a informação retirada das amostras.

2.4.2 Estatística Descritiva

Pode-se dizer que estatística divide-se em, *estatística descritiva* e *inferência estatística*. A *estatística descritiva* permite tratar e representar, de forma compreensível, informação contida num conjunto de dados que constituem uma amostra. Isso é feito através de gráficos, tabelas ou de cálculos de medidas.

Para iniciar qualquer estudo estatístico são necessárias ter em mente algumas bases da estatística descritiva como as que serão ilustradas seguidamente.

Estatísticas de localização

➤ Média

A média amostral é o parâmetro de localização mais utilizado e constitui a estimativa do valor médio da população (Vasconcelos, 1999).

➤ **Mediana**

A mediana é definida como sendo o valor central de uma amostra de dados, ordenada por ordem crescente.

Se o tamanho de amostra é ímpar, existe um valor central. Se o tamanho da amostra é par, não existe propriamente um valor, mas sim dois valores centrais; nesta situação, considera-se que a mediana é a média das duas observações centrais (Vasconcelos, 1999).

➤ **Moda**

A moda indica o valor ao qual a concentração dos dados é máxima, pode haver mais do que uma moda numa amostra.

Para dados discretos (valores inteiros) a moda é o valor mais frequente. Para dados contínuos (valores inteiros ou não), a moda é dada pelo ponto médio da classe com maior frequência.

Estatísticas de dispersão

➤ **Amplitude da amostra**

A variabilidade dos dados pode ser caracterizada, de forma simples, pela amplitude da amostra.

➤ **Variância**

A variância é uma medida do afastamento médio de cada uma das observações em torno da média (Vasconcelos, 1999).

➤ **Desvio Padrão**

O desvio-padrão define-se como sendo a raiz quadrada da variância. A vantagem que apresenta sobre a variância é de permitir uma interpretação directa da variação do conjunto de dados.

É definido de forma a fornecer uma medida da dispersão que seja um número não negativo e que use as mesmas unidades de medida que os nossos dados. O valor ideal é 0 (Vasconcelos, 1999).

2.4.3 Inferência Estatística

A *inferência estatística* também permite tratar e representar dados, mas neste caso são parâmetros representativos de uma população que foram encontrados a partir de análise estimativa da amostra.

É um processo de raciocínio indutivo, em que se procura tirar conclusões através do particular, para o geral. Utiliza-se quando se pretende estudar uma população, estudando só alguns elementos dessa população, ou seja, uma amostra.

Existem três meios para, a partir das propriedades verificadas na amostra, tenta inferir propriedades para a população:

- Estimação Pontual
- Estimação por Intervalo
- Testes de Hipóteses

Na *Estimação Pontual* a “estimativa de um parâmetro corresponde ao valor que determinada estatística toma na amostra, podendo ser usadas diferentes estatísticas para o efeito. Tais estatísticas, designadas por estimadores, são definidas a partir de diversos métodos e comparáveis com base num conjunto de propriedades desejáveis”.

Na *Estimação por Intervalo* tenta-se encontrar um intervalo de confiança, através de cálculos estatísticos e com uma determinada probabilidade, que contenha o valor parâmetro de interesse.

Os *Testes de Hipótese* são os mais utilizados para chegar à população. O objectivo é criar suspeitas sobre os valores possíveis do parâmetro e verificar se estas suspeitas são muito ou pouco prováveis, isto é, testar as hipóteses (Vasconcelos, 2007).

Os procedimentos básicos para realizar um teste de hipóteses são os seguintes:

- 1) Definir a Hipótese.
- 2) Definir a estatística de teste e caracterizar a distribuição.
- 3) Definir a regra de decisão de acordo com o valor de prova do teste.
- 4) Calcular a estatística de teste e tomar a respectiva decisão.

Definir uma hipótese é criar uma hipótese alternativa (H_1), em que traduz uma suspeita que se pretende verificar, e uma hipótese nula (H_0), que é uma hipótese complementar a H_1 e é considerada verdadeira até que provém o contrário. A hipótese alternativa contém sempre uma desigualdade ($>$, $<$ ou \neq) e a hipótese nula uma igualdade (\geq , \leq ou $=$).

Tabela 1 - Tabela para formulação de hipóteses

	Teste unilateral à direita	Teste unilateral à esquerda	Teste bilateral
Hipótese Alternativa H_1	$>$	$<$	\neq
Hipótese Nula H_0	\leq	\geq	$=$

Para dar “força” à hipótese nula define-se a *estatística de teste (ET)*, e para tal é necessário conhecer a distribuição da amostra. Sabendo o tipo e a dimensão da amostra, recorre-se a uma tabela já existente e escolhe-se a estatística de teste adequada.

A *regra de decisão* consiste em especificar uma zona de rejeição de acordo com o valor de prova (α), que geralmente é igual a 5% (0,05). Quando avaliamos os resultados de uma experiência, os descrevemos em função da sua significância. O valor de prova refere o quão seguros podemos estar de que os nossos resultados são realmente diferentes. Por outras palavras se a ET tiver α maior que 0,05, significa que H_0 está dentro da região de rejeição e será rejeitada. Caso ET seja menor que 0,05, o H_0 não é rejeitado e o teste diz-se inconclusivo.

Os testes de hipóteses podem ser *paramétricos* se recaírem sobre um parâmetro de uma ou mais populações (por exemplo, sobre a média ou valor esperado, ou sobre a variância) e se a distribuição da estatística de teste pressupõe uma forma particular das distribuições populacionais de onde as amostras foram recolhidas. Por exemplo, a distribuição da

estatística de teste do teste t-Student para comparar as médias de duas amostras pressupõe que as amostras foram retiradas de uma população que se distribui segundo uma função de probabilidades normal, e além disso pressupõe também que as variâncias das duas amostras são homogêneas.

Assim, se algum destes pressupostos é violado, então os testes tradicionais vistos anteriormente não têm rigor estatístico, e deverão ser evitados, e em sua substituição dever-se-ão utilizar testes que não exijam o cumprimento de tais pressupostos. Estes testes designam-se por testes *não paramétricos*.

O teste *Kolmogorov-Smirnov* é um teste não paramétrico que analisa a qualidade de ajuste de uma amostra à uma distribuição teórica. Pode ser aplicado em amostras de pequena dimensão e requer poucos pressupostos acerca dos dados, porém este tipo de teste não paramétrico exige um grande esforço computacional para verificar a normalidade da distribuição, pois só se aplica em variáveis contínuas. O Teste K-S compara uma distribuição cumulativa observada (DO) com uma distribuição teórica normal (DN), Normal, Poisson, Exponencial ou Uniforme (Vasconcelos, 1999).

Pretendendo-se, por exemplo, comparar o efeito de 2 tratamentos numa amostra aleatória de pessoas infectadas com o vírus HIV, emparelham-se os doentes submetidos ao tratamento A com os doentes submetidos ao tratamento B e analisam-se as diferenças nos resultados, usando para tal o *teste t para amostras emparelhadas*. O teste t para amostras emparelhadas permite inferir sobre a igualdade de médias de duas amostras emparelhadas. Frequentemente cada caso é analisado duas vezes, antes e depois de um tratamento ou intervenção, formando pares de observações, cujas diferenças são testadas para ver se o resultado é ou não zero. Este teste também é apropriado para analisar dois grupos diferentes de casos relativamente a alguma característica que tenham em comum e pela qual possam ser comparados. Note-se que deve haver sempre correlação entre os dois grupos para se utilizar este teste, se a correlação entre os dois grupos for pequena, significa que o emparelhamento não foi útil. (Pestana e Gageiro, 2000).

2.4.4 Capacidade do Processo

Os índices de capacidade do processo, ou de capacidade do processo, procuram detectar dois tipos de problemas. O primeiro é de localização do processo, se o processo atende em média ao valor nominal de especificação, e o segundo, de variabilidade, quando o processo apresenta muita dispersão e não atende às especificações que são estabelecidas no projecto. Os índices de capacidade do processo pressupõem distribuição normal dos dados em análise.

Antes de iniciar um estudo de capacidade é necessário que o processo esteja sob controlo estatístico, e para colocar um processo sob controlo é necessário avaliar a potencialidade deste, isto é, avaliar se é capaz de produzir nas melhores condições. Esta é a finalidade do estudo da capacidade do processo (Vieira, 2001).

A capacidade do processo reflecte a variação devida a causas comuns, consistindo em comparar a distribuição de uma determinada característica do produto com as especificações previamente estabelecidas. A análise da capacidade permite prever se o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações, ajudar a seleccionar ou a modificar um processo ou máquina, seleccionar fornecedores e reduzir a variação do processo (Pereira e Requeijo, 2008).

Assumindo que a distribuição é normal pode-se considerar que a variação aceitável para o processo é igual 6σ , em que σ é o desvio padrão do processo. Isto significa que 99,73% dos valores de uma determinada característica estarão compreendidos entre $\mu \pm 3\sigma$, em que μ é a média do processo. O cálculo dos índices de Capacidade leva em conta o desvio-padrão, que pode ser calculado ou estimado.

A capacidade é normalmente medida através do índice de capacidade do processo C_p , que é dado por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{\text{Variação permitida}}{\text{Variação real}} \quad (\text{Pereira e Requeijo, 2008})$$

onde LSE é o limite superior da especificação, LIE é o limite inferior da especificação.

O ideal é que o valor de C_p seja o mais alto possível, quanto maior o índice, é menos provável que o processo esteja fora das especificações. Se o valor estiver acima de 1,33 diz-se que o processo é capaz, caso seja inferior a 1 o processo diz-se incapaz, se estiver entre 1 e 1,33 diz-se que é aceitável (Alvelos, 2007).

Porém, o processo pode ter um $C_p=1,33$ e estar a produzir componentes não conforme porque a sua média não está centrada no valor nominal, o C_p não tem em consideração a eventual descentragem do processo. Devido a este facto é necessário considerar outro índice, o C_{pk} , que considera a descentragem do processo, ou seja, a localização da sua média. Mede ainda, a distância entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo. O C_{pk} é dado por:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \right\} \quad (\text{Pereira e Requeijo, 2008})$$

Se C_{pk} for diferente de C_p o processo diz-se descentrado, se for igual a C_p o processo diz-se centrado (Alvelos, 2007).

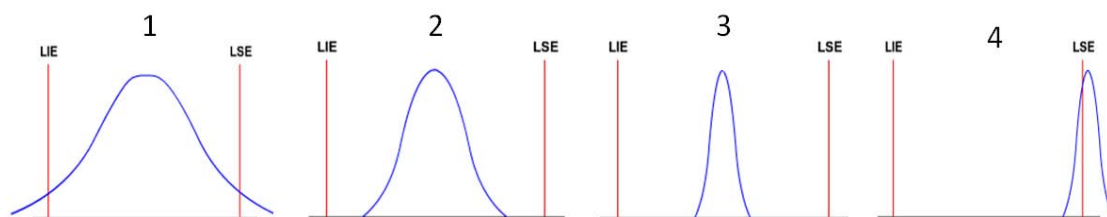


Figura 6 - Algumas ocorrências possíveis para os índices de capacidade

Para a situação 1 o valor de C_p é menor que 1, e C_{pk} é igual ao C_p . Embora a distribuição esteja centrada, a variação é maior que os limites de especificação e o processo diz-se incapaz.

Na situação 2 o processo diz-se satisfatório, o C_p é maior que 1 e C_{pk} continua igual ao C_p , já que a distribuição encontra-se centrada e dentro dos limites de especificação.

Na situação 3 ambos valores dos índices são altos, há uma baixa variação em relação aos limites e a distribuição centrada, o processo diz-se capaz.

Na última situação o índice C_p é alto, pois existe uma baixa variação em relação aos limites e o índice C_{pk} é menor que 0, já que o pico máximo da distribuição ultrapassa o limite de especificação, e o processo diz-se incapaz. Caso esse pico coincidisse com um dos limites de especificação o valor de C_{pk} seria igual a 0.

2.4.5 Estatística Multivariada

Com a evolução tecnológica e dos softwares de estatística como o SPSS (Statistical Package for Social Sciences), a estatística multivariada tem sido cada vez mais utilizada em diversas áreas. Até então as técnicas da estatística multivariada só eram utilizadas por analistas devidamente formados e com computadores capacitados. Os métodos e técnicas dessa estatística como, a Análise de Variância, Regressão Linear, Análise Discriminante, Análise Factorial e Análise de Clusters, permitem analisar, compreender, inter-relacionar várias variáveis de um conjunto de indivíduos ou objectos e até mesmo reduzir / simplificar o número de variáveis para uma melhor análise. O uso destas ferramentas só começa depois da escolha das variáveis e das metodologias de análise, antes disto o estudo é completamente subjectivo.

Quando o interesse do estudo é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto estas são semelhantes segundo as variáveis utilizadas no trabalho, destacam-se dois métodos que podem ser utilizados: a Análise de Variância e a Análise Discriminante. Quando a finalidade principal é fazer previsão, por exemplo, quando temos muitas variáveis independentes e queremos encontrar uma variável dependente, a Regressão Linear é o método indicado para esta situação. Com uma finalidade de reduzir variáveis ou agrupá-las para simplificar o processo, temos os métodos Análise Factorial e Análise de Clusters.

➤ Análise de Variância

A análise de variância é uma metodologia estatística que permite comparar parâmetros de mais do que duas populações. Aqui as variáveis dependentes são do tipo quantitativas e as

independentes são do tipo qualitativas, como por exemplo o sexo, que pode ser masculino ou feminino. As variáveis independentes podem ser *one-way* (um factor) ou *two-way* (dois factores) e as variáveis dependentes *anova* (uma variável) ou *manova* (duas variáveis) (Vasconcelos, 2007).

Pressupostos da Anova:

- A variável tem ser quantitativa.
- Normalidade dos dados, principalmente se a dimensão de pelo menos um dos grupos for menor que 30.
- Variância homogênea, principalmente quando os grupos de dados têm dimensões diferentes.

No entanto, a análise de variância é bastante robusta, isto é, o seu desempenho não é demasiadamente afectado por pequenos desvios desses pressupostos.

Quando a hipótese nula (H_0) é rejeitada na análise de variância, ou seja, o valor de prova é inferior à 0,05, a distribuição dos dados não é normal, e não é sempre óbvio qual ou as quais das amostras diferem das outras.

Existe então a necessidade de efectuar testes “a posteriori” de comparações múltiplas. O teste Tukey é um desses testes, que faz a comparação múltipla da diferença entre as médias. Os resultados são apresentados como uma matriz que mostra grupos de pontos com médias semelhantes (Pestana e Gageiro, 2000).

➤ **Regressão Linear**

A regressão linear tem a principal finalidade de obter uma equação matemática entre uma das variáveis (a variável dependente) e o restante das variáveis (variáveis independentes), de forma a encontrar o efeito que as variáveis independentes causam na variável dependente. Ambas as variáveis, dependente e independente, são do tipo quantitativas. Sua principal aplicação, após encontrar a relação matemática é produzir valores para a variável dependente quando se têm as variáveis independentes. Genericamente pode-se

exemplificar a equação dessa forma: $\text{Peso} = f(\text{Altura}, \text{Idade})$, sendo o peso a variável dependente e a altura e idade as variáveis independentes ou regressores.

Quando se ajusta um modelo de regressão linear múltipla pode acontecer que se justifique estatisticamente incluir na equação de regressão, todas as variáveis independentes ou incluir apenas algumas. Os métodos de selecção de regressores mais utilizados são: Stepwise, Forward e Backward.

O método Backward começa por incluir todas as variáveis e analisa a contribuição dos coeficientes de regressão de cada uma das variáveis independentes no modelo, elimina a variável independente menos significativa e recalcula novamente o modelo sem essa variável, e assim sucessivamente, até que as restantes variáveis sejam significativas e relacionadas, de modo a explicar o modelo.

Os métodos Stepwise e Forward começa por calcular um modelo incluindo apenas variáveis independentes com valor de prova alto, analisa o valor de prova da próxima variável independente mais significativa e inclui-a no modelo, recalcula o modelo e assim sucessivamente até que mais nenhuma das variáveis seja significativa (Vasconcelos, 2007).

➤ **Análise Discriminante**

A análise discriminante é uma metodologia que permite determinar classes/grupos com as mesmas características. Esse processo é possível através de uma função discriminante que permite prever se um indivíduo ou objecto, pertence ao grupo ou não. Esta análise é utilizada para variáveis independentes do tipo quantitativo e variáveis dependentes do tipo qualitativo. Para a selecção das variáveis podem ser utilizados os métodos Stepwise ou Backward.

Matematicamente, a análise discriminante com base em V variáveis quantitativas, constrói um conjunto de F funções lineares, as funções discriminantes, cujos valores tomados para uma determinada observação permite associá-la a uma das C classes definidas por uma dada variável qualitativa, $F \leq \text{Min}(V, C-1)$ (Vasconcelos, 2007).

➤ **Análise Factorial**

A análise factorial é um instrumento que possibilita organizar a maneira como os sujeitos interpretam as coisas, indicando as que estão relacionadas entre si e as que não estão. Esta análise permite ver até que ponto diferentes variáveis têm subjacente o mesmo conceito (factor), ou seja, permite avaliar a validade das variáveis constituintes dos factores, indicando em que medida se referem aos mesmos conceitos, através da correlação entre elas.

A amostra deve ser suficientemente grande com pelo menos 5 sujeitos por variável e pelo menos 100 no total, de forma a garantir que numa segunda análise se mantenham os mesmos factores.

A *análise dos componentes principais*, é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis quantitativas iniciais correlacionadas entre si, em outro conjunto com um menor número de variáveis não correlacionadas e designadas por componentes principais, reduzindo a complexidade de interpretação dos dados.

As componentes principais são calculadas por ordem decrescente de importância, a primeira explica a máxima variância dos dados, a segunda a máxima variância ainda não explicada pela primeira, e assim sucessivamente. A última componente é a que menos explica a variância total dos dados. A variância das componentes designa-se por “eigenvalues”, cujo tamanho descreve a dispersão dos dados. O número de componentes principais necessárias para descrever os dados, pode ser obtido através, geralmente, pela variância das componentes superior a 1.

As tabelas mais utilizadas na análise factorial fornecidas pelo SPSS são:

- Matriz das Correlações – mede a associação linear entre as variáveis. Deve haver correlação entre as variáveis, se forem pequenas é pouco provável que partilhem factores comuns.
- KMO – o Kaiser-Meyer-Olkin, que varia entre 0 e 1, compara as correlações simples com as parciais observadas entre as variáveis. O KMO perto de 1 indica

coeficiente de correlação parciais pequenos, enquanto valores próximos de 0 indica que a análise factorial pode não ser uma boa ideia, porque existe correlação fraca entre as variáveis. Valor de KMO inferiores à 0,5 a aplicação da análise factorial é inaceitável.

- Matriz Anti-Imagem – é uma medida da adequação amostral (MSA) de cada variável para uso da análise factorial, onde pequenos valores, inferior a 0,5, na diagonal levam a considerar a eliminação da variável. Os valores fora da diagonal representam o simétrico da matriz das correlações, e deverão ser pequenos para a aplicação do modelo das componentes principais.
- Comunalidades – é a proporção da variância de cada variável explicada pelas componentes principais retidas. As comunalidades iniciais são iguais a 1, existindo tantas componentes principais como variáveis. Após a extracção, variam entre 0 e 1, sendo 0 quando os factores não explicam nenhuma variância da variável e 1 quando explicam toda a sua variância.
- Variância Total Explicada – mostram soluções credíveis para a escolha de número de factores a reter.
- Matriz das Componentes Rodada – o objectivo da rotação ortogonal é extremar os valores, de modo que cada variável se associe apenas a um factor. Fazem-se varias iterações até estabilizar as estimativas das variâncias nas variáveis explicadas pelos factores. Quanto menos iterações forem necessárias melhor os dados se adequam ao modelo (Pestana e Gageiro, 2000).

Pressupostos da Análise Factorial:

- Garantir alguma multicolinearidade (duas ou mais variáveis são colineares se possuem relação exacta, ou seja, como se fossem rectas paralelas)
- A normalidade e homogeneidade são pouco relevantes.

➤ **Análise de Clusters**

Por vezes tratar e analisar um grande número de dados é difícil, como tal esta técnica permite formar grupos de dados homogêneos, de acordo com o grau de proximidade e relacionamento. Estes grupos são chamados de Clusters e para forma-los devem respeitar o critério de homogeneidade, em que os elementos do mesmo cluster estão próximos, e de separação, em que elementos de cluster diferentes estão afastados entre si.

As técnicas de agrupamento podem ser hierárquica, não hierárquica ou mista. Simplificadamente o agrupamento hierárquico considera cada elemento como um cluster e sequencialmente inclui os elementos mais próximos, já no procedimento não hierárquico define-se inicialmente o número de cluster pretendido e chega a esse número de cluster com os elementos mais próximos. O agrupamento misto parte de um procedimento hierárquico para obter a solução inicial e desenvolve seguindo um procedimento não hierárquico.

O sucesso desta técnica depende basicamente das competências do analista. Os clusters não devem ser de dimensões muito diferentes e o número de elementos não deve ser reduzido (Vasconcelos, 2007).

Dimensão das amostras

A medida que a dimensão da amostra aumenta, mais fácil é detectar a ocorrência de pequenas alterações do processo. Para o caso de haver grandes variações do processo pode-se recorrer a dimensões de amostras mais pequenas.

Por razões económicas, de tempo e/ou operacionais as dimensões das amostras tendem a ser pequenas. É conveniente aumentar a dimensão sempre que possível, de acordo com o pretendido para o estudo (Pereira e Requeijo, 2008).

Recolher e tratar uma amostra maior do que o necessário é um desperdício de recursos e recolher amostra cuja dimensão não é suficiente é um erro e irá influenciar negativamente as conclusões (Alvelos, 2007).

Numa recolha de dados existem sempre dados que podem eventualmente ser eliminados devido ao facto de conterem erros de medição, serem incompletos, por algum motivo extraviarem-se, não representar o que se pretende, etc. Por esses motivos deve-se recolher sempre alguns dados a mais do que o extremamente necessário e estipulado inicialmente para a realização da análise e aplicação das técnicas estatísticas.

A seguir são apresentadas as dimensões aproximadamente necessárias para algumas técnicas de análise estatística:

Tabela 2 - Dimensões de amostras para cada técnica. (Adaptado de: Vasconcelos, 2007)

Técnicas	Dimensão da amostra
Análise de Variância	≥ 20
Regressão Linear	$\geq 5K$ (mínimo necessário) $\geq 20K$ (aconselhável) K – número de regressores
Análise Discriminante	$\geq 5K$ (mínimo necessário) $\geq 20K$ (aconselhável) K – número inicial de variáveis independentes
Análise Factorial	$\geq 5K$ nem a 50 (mínimo necessário) $\geq 10K$ nem a 100 (aconselhável) K – número inicial de variáveis independentes

Para o caso de eventualmente faltar dados pode-se substituir os dados em falta com novas observações, palpites, médias ou estimar os dados através de iterações.

3 O Caso dos Fornos de Vapor TEKA

3.1 Apresentação da Empresa

A Teka Portugal é uma das empresas participadas do Grupo Teka, um grupo multinacional de origem alemã que foi fundado em 1924. Actualmente, possui mais de 5000 colaboradores integrados em unidades comerciais e fabris em 15 países da Europa, Ásia e América.

A Teka Portugal estabeleceu-se em Portugal no final da década de 70 e tem crescido desde então. Hoje, conta com mais de 300 colaboradores e atinge uma facturação anual de aproximadamente 54 milhões de Euros.

A missão principal da empresa é satisfazer o mais possível, as partes interessadas na Teka Portugal: os clientes, os colaboradores, os sócios, a comunidade e o meio ambiente.

É uma empresa multi-serviços, multi-produtos, multi-marca, fabricante e distribuidora, em vários âmbitos / sectores. Actualmente, os produtos fabricados são microondas de 38, 20 e 18 Litros, chaminés decorativas, tampas de vidro, estabilizadores de ar, gavetas de aquecimento de louça, forno de vapor e placas de encastrar. A Teka Portugal não só fabrica para empresas e marcas do grupo Teka, como pesquisa e desenvolve activamente negócios para outras marcas e empresas.

Para além de produzir e comercializar esses produtos, comercializa ainda uma vasta gama de produtos importados de outras fábricas do Grupo Teka, como frigoríficos, máquinas de lavar e secar roupa, máquinas de lavar louça, lava louças, exaustores, garrafeiras, grelhadores, equipamentos para a casa de banho (misturadoras, termostatos, sistema de duche), ar condicionado, etc.

3.2 Departamento de Qualidade

O departamento de qualidade planeia e coordena as actividades após venda das secções de recepção de materiais, produto não conforme e laboratório, transmitindo directrizes, definindo objectivos, prioridades e metodologias de trabalho, tendo como referência as orientações e os objectivos estratégicos vinculados pela administração.

Tem os objectivos seguintes:

- Definir ou conceber os meios de controlo necessários;
- Gerir os processos de reclamação e avaliação da eficácia das acções propostas;
- Desenvolver as metodologias de ensaio necessárias à avaliação da conformidade de componentes e produto e documentar as mesmas;
- Planear e manter em execução, um plano de auditorias ao produto acabado;
- Identificar e propor acções de melhorias;
- Assegurar o tratamento de produto não conforme;
- Analisar e aprovar componentes de compra e fabricados com excepção de eléctricos.

Em seguida, encontra-se o organigrama com as actividades e equipa do departamento de qualidade.

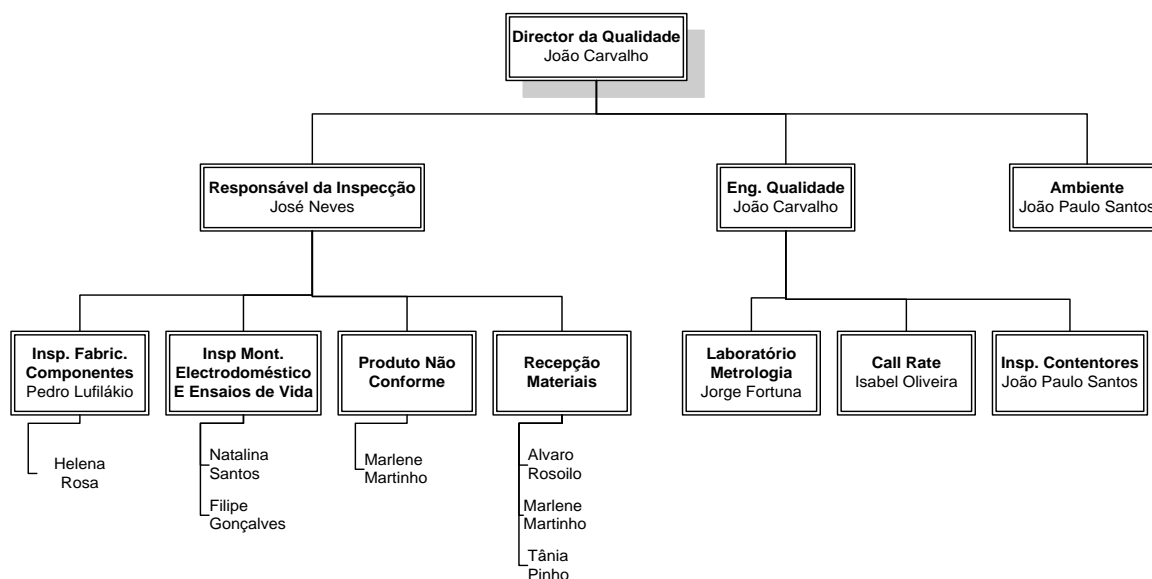


Figura 7 - Organigrama do Departamento de Qualidade

3.3 O Forno de Vapor TEKA

O forno de vapor surgiu na TEKA Portugal em meados de 2008 e desde então tem vindo a crescer consideravelmente o número de fornos produzidos diariamente, bem como a qualidade dos mesmos. O conceito de cozinhar a vapor já existe há mais de 3000 mil anos, como tal o aparecimento deste forno veio facilitar a confecção de alimentos ao vapor, permitindo manter as vitaminas e os minerais de alimentos como o peixe, arroz, vegetais, e contribuindo assim para uma alimentação saudável.

Possui uma cavidade em aço inoxidável com capacidade de 35L, uma função de cozinhado, painel de comandos electrónico, 2 bandejas em aço inoxidável com 4 alturas de cozinhado, potência de 1500W e um depósito de água de 1,2L para que haja geração de vapor através de uma caldeira interna.

Este produto é focalizado principalmente para clientes de classe média / alta, já que o seu preço no mercado é aproximadamente 1000 euros.



Figura 8 - Forno de Vapor TEKA

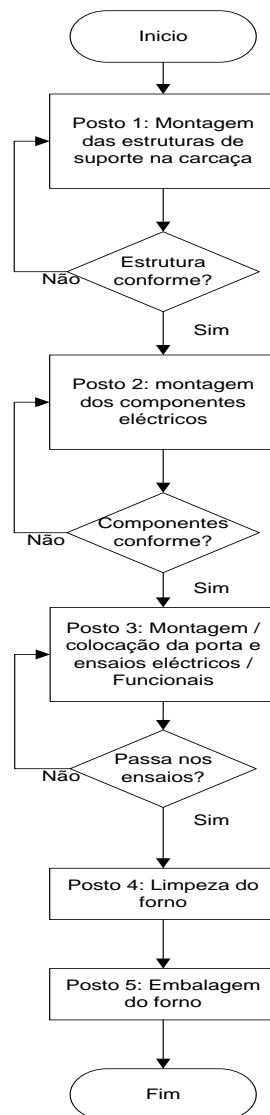


Figura 9 - Fluxograma da linha de montagem do Forno de Vapor

Existem duas linhas de montagem do forno de vapor, estão distribuídas paralelamente e cada uma possui 4 postos de trabalho. O forno percorre “trilhos” e para nos devidos postos. O último posto, o de embalagem, é comum para as duas linhas. Este possui um robot que coloca as caixas em paletes.

O processo inicia-se no posto 1 onde a operadora monta na cavidade da carcaça, as estruturas laterais e superior do forno, o suporte de componentes, as envolventes do depósito de água, e ainda as bombas de água.

No posto 2 é instalado os componentes eléctricos como o painel de comandos, ventilador e conduta de ar, sondas e as respectivas cablagens.

A porta é montada e aplicada no forno no posto 3, seguidamente realizam-se os ensaios eléctricos e verificação de estética, se houver fuga de vapor ou desalinhamentos, a operadora tenta reparar no momento.

Antes da embalagem, no posto 4, a operadora efectua a limpeza do forno e introduz os acessórios e manuais de instrução.

Caso haja algum componente não conforme ou um erro de montagem, as operadoras identificam a origem do problema e encaminham o forno para o respectivo posto para efectuar a desmontagem e reparação ou rejeição do componente.

3.4 Metodologia Seguida no Estudo

O objectivo deste estudo ao forno de vapor é encontrar possíveis causas para o aparecimento das fugas de vapor e falta de estética do forno, bem como identificar os componentes e analisar as suas cotas de especificação, relacionados com essa falha.

O estudo foi realizado seguindo quatro etapas. A primeira foi a definição do problema e a *Identificação dos Componentes Críticos* na produção do forno de vapor, aqueles que em geral causam diariamente problemas na linha de montagem e consequentemente estão relacionados com a fuga de vapor de água. Estes componentes são problemáticos pois são de difícil controlo dimensional na linha, e originam a falha que ocorre com maior frequência: a fuga de vapor. Essa etapa demorou aproximadamente um mês a ser concluída.

Seguidamente, durante quatro meses foi efectuada a segunda etapa, a *Recolha de Dados*. Para esta etapa foi realizado um plano de trabalho para recolha de dados diária ou semanal, consoante os componentes a medir. Todos os dados eram armazenados e organizados em ficheiro Excel, de forma a facilitar o trabalho da etapa seguinte.

Durante quatro meses aproximadamente, realizou-se a quarta etapa, o *Tratamento dos Dados*. Aqui foram aplicadas as ferramentas da qualidade e estatísticas necessárias para facilitar ao máximo a interpretação dos dados.

Finalmente, foi realizada a *Análise dos Resultados* através de tabelas, imagens, textos explicativos e outputs do software SPSS. Também foram apresentadas algumas conclusões do trabalho. A análise dos resultados está dividida pelas variáveis em estudo, ou seja, para cada variável é apresentada todas as análises e conclusões acerca da mesma.

3.5 Identificação dos Componentes Críticos

O tema de estudo surgiu com um problema detectado no produto acabado, nomeadamente o forno de vapor.

As falhas que ocorrem em maior número na linha de montagem do forno de vapor são as fugas de vapor de água.

Assim, este trabalho, consiste num projecto baseado numa análise das causas e componentes directamente relacionados com essas falhas, no sentido de as eliminar ou minimizar. Com o objectivo de propor acções de melhoria da qualidade relacionadas com os componentes de fabrico interno e externo, que visem reduzir o número de fugas de vapor de água nos fornos produzidos na TEKA Portugal e ainda garantir os aspectos estéticos / funcionais dos fornos, como o alinhamento da porta com o painel de comandos.

O cuidado aos aspectos estéticos / funcionais dos fornos, como o alinhamento da porta com o painel de comandos e a livre abertura da mesma, é de grande importância para a empresa já que são as primeiras a serem detectadas pelos clientes. Esta falha é relativamente simples de resolver, pois basta “soltar” os parafusos da porta, e com o auxílio de um calibre, ajusta-se a porta de acordo com o painel. Esta verificação é efectuada à 100% pelas operadoras na linha de montagem, porém existe ainda alguns casos detectados pelos clientes.

Para o caso das fugas de vapor o problema é de origem funcional, o que é rejeitado automaticamente pelo cliente, e é mais complicado de reparar. Não há uma forma de garantir que não haja fuga num forno, e a única verificação é demorada. Todos os fornos são postos em funcionamento durante 30 minutos na linha de montagem, após esse funcionamento a operadora abre a porta e verifica se há condensação na frente do forno, caso haja, é considerado uma fuga e o forno regressa alguns postos de trabalho atrás para reparação. Contudo esse ensaio não garante plenamente que numa segunda operação de funcionamento não haja fuga. Para diminuir o risco, o ideal seria que todos os componentes do forno não apresentassem quaisquer defeitos, que estivessem todos dentro dos limites das cotas do projecto e que as operadoras não cometessem erros de montagem.

Com o presente estudo pretende-se encontrar as principais causas e componentes que levam ao aparecimento dessas falhas, para que seja possível actuar e reduzi-la.

Segue um diagrama de causa e efeito que ilustra todos os constituintes da linha de montagem e o que cada um deles pode influenciar para o aparecimento de folgas entre a porta e frente da carcaça, e consequentemente a origem de fugas de vapor.

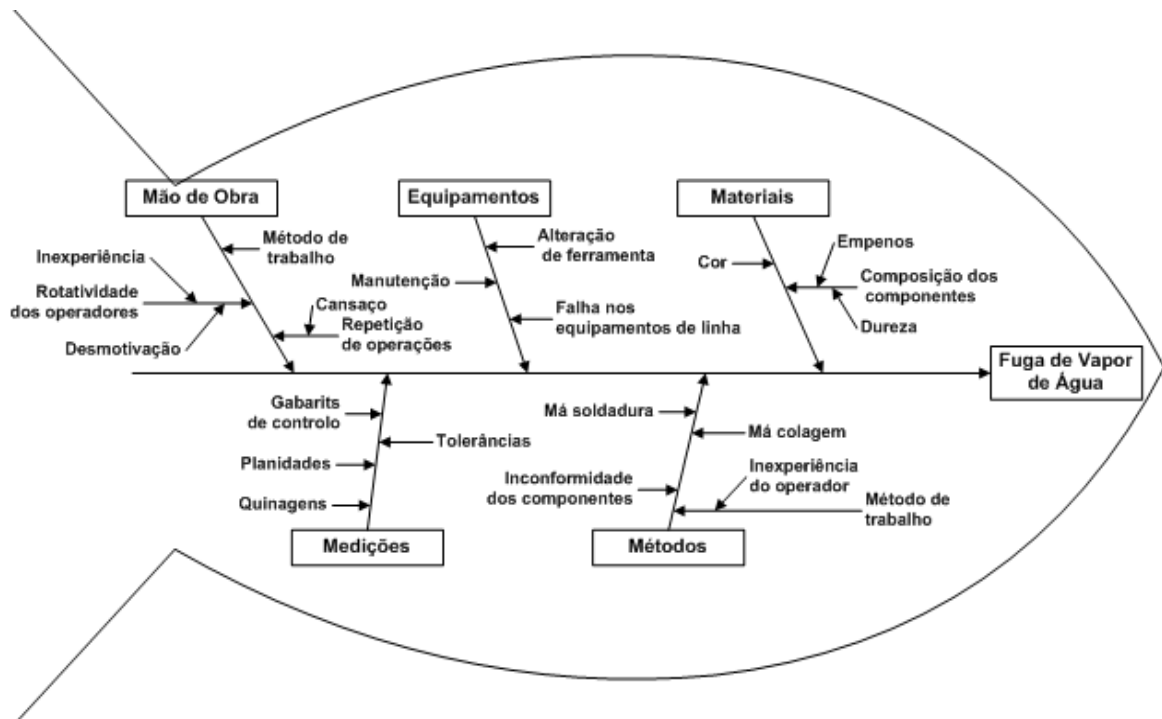


Figura 10 - Diagrama de causa e efeito para a fuga de vapor

Numa primeira fase, realizou-se um levantamento de todos os componentes de fornecimento externo e interno que são críticos e influenciam o aparecimento dos problemas estéticos/funcionais e fugas nos fornos de vapor.

A seguir estão ilustrados todos os componentes em estudo bem como uma breve descrição e as cotas a controlar em cada um.

➤ *Dobradiça*

Este componente é de fornecimento externo e é fixada uma em cada extremidade inferior da porta. Possui uma mola a qual é necessário controlar a sua força, pois esta permite que a porta exerça uma certa pressão na frente da carcaça para que o vapor não saia do interior da cavidade. Porém essa força não poderá ser superior ao limite estipulado. Isso levaria a que o utilizador necessitasse de realizar uma força superior e para além disso, a porta depois de aberta terá que permanecer aberta e caso a força seja superior isso não será possível, o que causará um certo desconforto para o cliente.

A força da mola tem um valor nominal de $5,8 \text{ Kg.f} \pm 10\%$. Kilograma-força (Kg.f) é a força exercida por uma massa de um quilograma sujeita à gravidade terrestre e a tolerância de $\pm 10\%$ quer dizer que o limite superior será de $6,38 \text{ Kg.f}$ e o limite inferior de $5,22 \text{ Kg.f}$. Segue uma imagem onde ilustra a dobradiça e a mola da mesma.

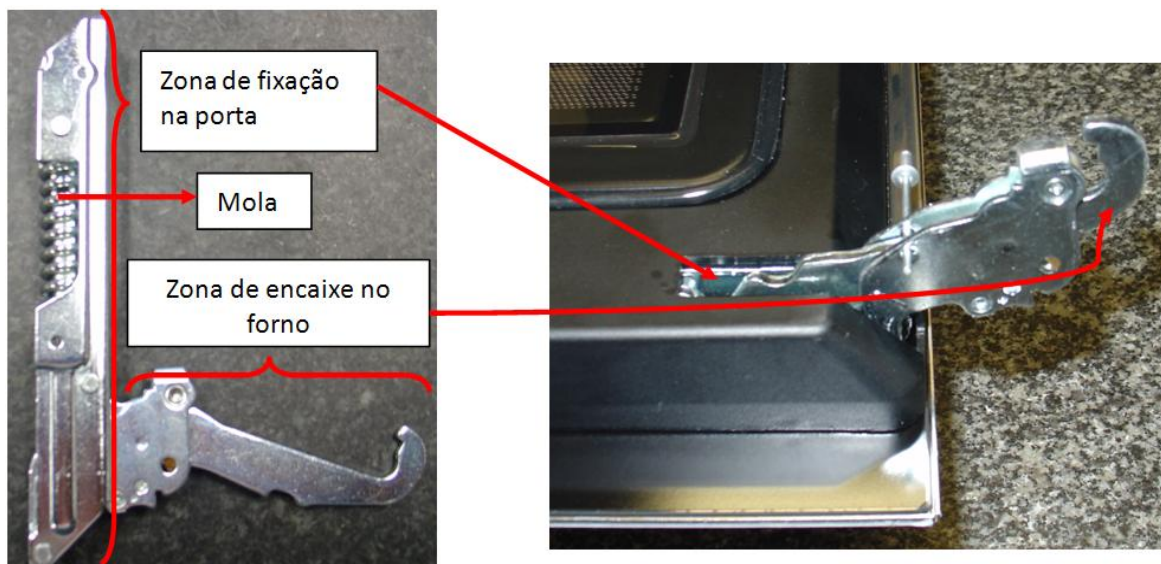


Figura 11 - Dobradiça e representação da sua montagem

A força é medida com o auxílio de um “Dinamómetro”, que tem uma precisão de 100g. Dinamómetro é um instrumento usado para a medição de forças mecânicas. A força é medida pelo alongamento produzido numa mola elástica. Esta mola encontra-se unida a um cursor que indica, sobre uma escala graduada, o alongamento provocado pela força.



Figura 12 - Dinamómetro

A força é medida com e sem perfil de silicone. O perfil de silicone é um componente de fornecimento externo como ilustra a figura e é aplicado na carcaça com a função de “vedar” a porta. Obviamente o forno não é funcional sem este perfil, apenas foi medida a força sem ele para servir de comparação e verificar se a sua posição, mais internamente ou externamente, influencia a força de abertura e fecho da porta.

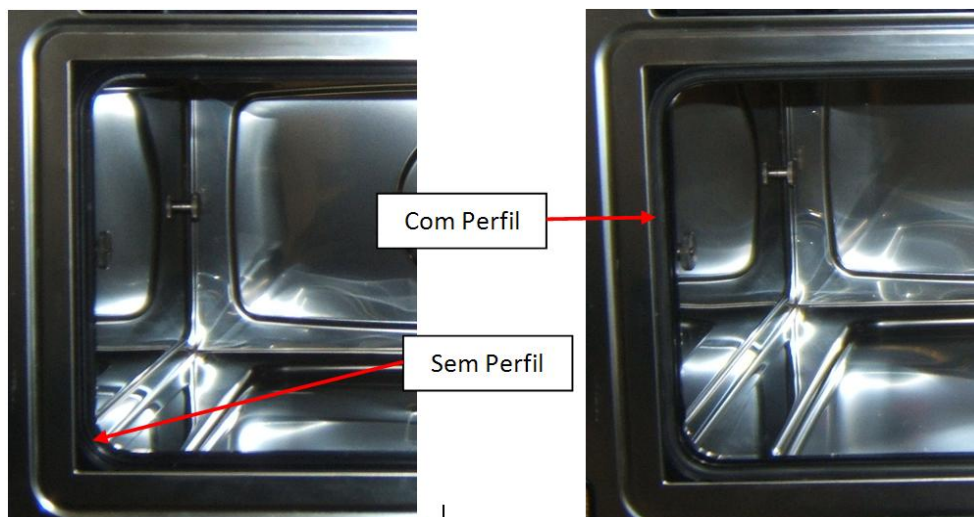


Figura 13 - Figura do forno com e sem perfil de silicone

➤ *Porta*



Figura 14 - Porta do forno de vapor

A porta possui uma combinação de componentes de fornecimento externo, interno, e colagens efectuadas na empresa. Neste componente o que é relevante é a garantir a planidade de toda face interior do forno, ou seja, ao medir um ponto qualquer no plano interior da porta, todos os outros pontos desse plano idealmente teriam que ser iguais ou muito próximos.

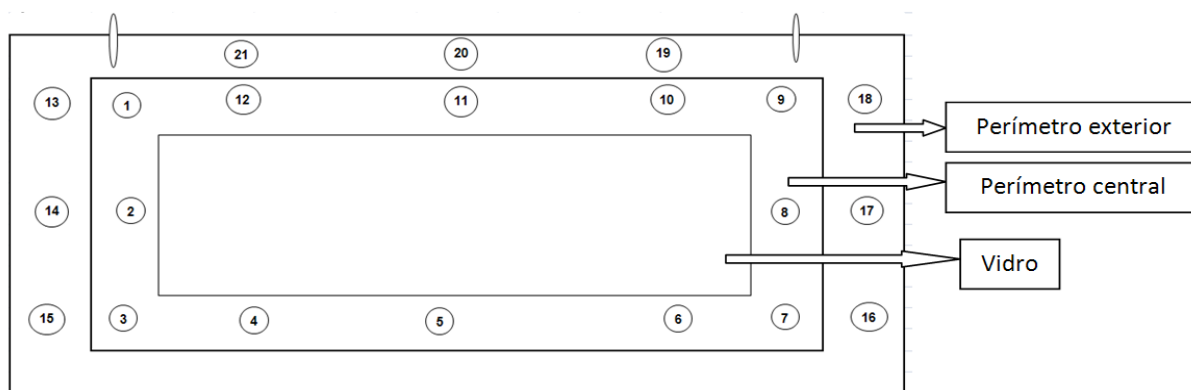


Figura 15 - Representação dos pontos a medir no plano da porta

➤ *Carcaça*



Figura 16 - Carcaça do forno de vapor

Este é um componente produzido internamente e a sua realização engloba operações de soldagens, o que dificulta respeitar as cotas limites. Sendo então um componente crítico, é importante também garantir a planidade da frente, como no caso da porta, e ainda os 2 planos de assentamento da dobradiça e a inclinação das extremidades da carcaça, como está representado na figura.

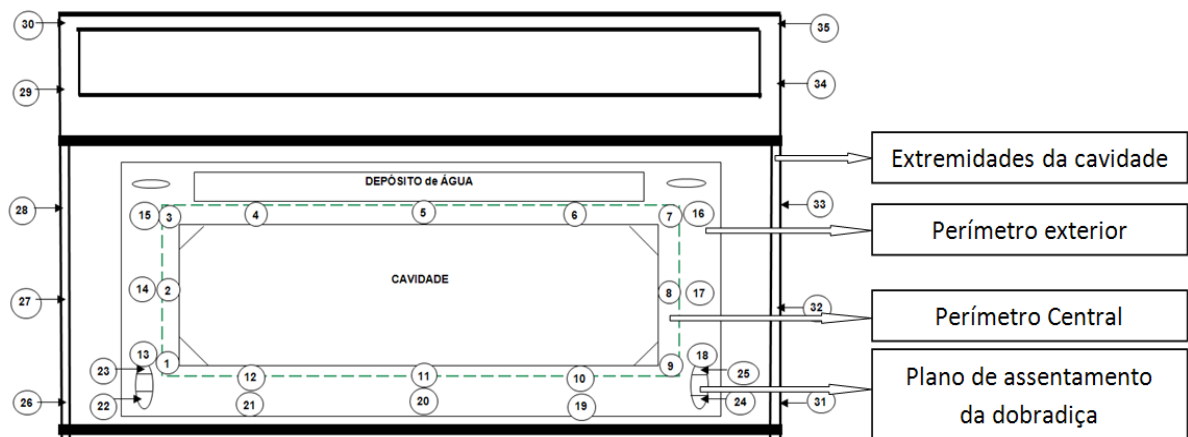


Figura 17 - Representação dos pontos a medir no plano da frente da carcaça

Os pontos 29, 30, 34 e 35 foram eliminados posteriormente às suas medições de cotas, pelo facto de esta zona ser constituída por uma chapa metálica fina que não possui estabilidade,

e por isso sua análise não tem grande relevância. Essa zona é ajustada ao painel de controle no momento da aplicação do mesmo

O ponto 1 não entra em nenhuma análise, pois é o ponto de origem e é considerado 0.

Os pontos da porta e da carcaça estão distribuídos de forma a coincidirem ao fechar a porta. Isso permite encontrar as folgas que podem originar as fugas de vapor. Os planos de assentamento da dobradiça também são de grande importância, pois influencia o posicionamento da porta. A inconformidade deste plano pode ser derivado ao manuseamento na sua conformação e/ou falhas de montagem. A cota de controle para esse plano, em relação ao plano da frente da carcaça é de $8,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. A cota do plano da frente da carcaça até ao plano das extremidades é de $16,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$.

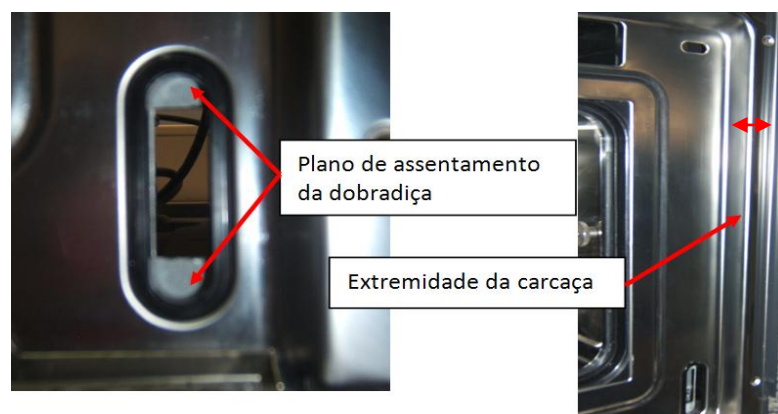


Figura 18 - Planos de assentamento da dobradiça e extremidade da carcaça

Segue-se um resumo das variáveis que serão alvo de estudo:

- Variáveis da Planidade da Frente: Perímetro central; Perímetro exterior; Plano de assentamento da dobradiça esquerda e Plano de assentamento da dobradiça direita.
- Variáveis da Planidade da Porta: Perímetro central e Perímetro exterior.
- Variáveis da Força da Dobradiça: Com perfil de silicone e Sem perfil de silicone.

Para a análise do conjunto porta, carcaça, força das dobradiças e fugas de vapor, a variável dependente será a fuga de vapor, e as variáveis independentes serão a planidade da frente, a planidade da porta, a força das dobradiças e o plano de assentamento da dobradiça.

3.6 Recolha e Tratamento dos Dados

Depois de estruturado o problema e especificadas as cotas e pontos de controlo, iniciou-se a recolha de dados. Para tal, semanalmente recolheram-se, em média, cinco fornos de vapor, que eram levados para o gabinete de metrologia para efectuar a medição da planidade da porta e da frente da carcaça. Essa medição foi feita com o auxílio da “MFO”, um aparelho de medição em três dimensões, que permite medir em qualquer direcção e ângulo por meio de sensores, com uma precisão de 3×10^{-3} mm. Os dados eram automaticamente adquiridos para o computador e posteriormente organizados numa folha de “Excel” elaborada para o efeito.

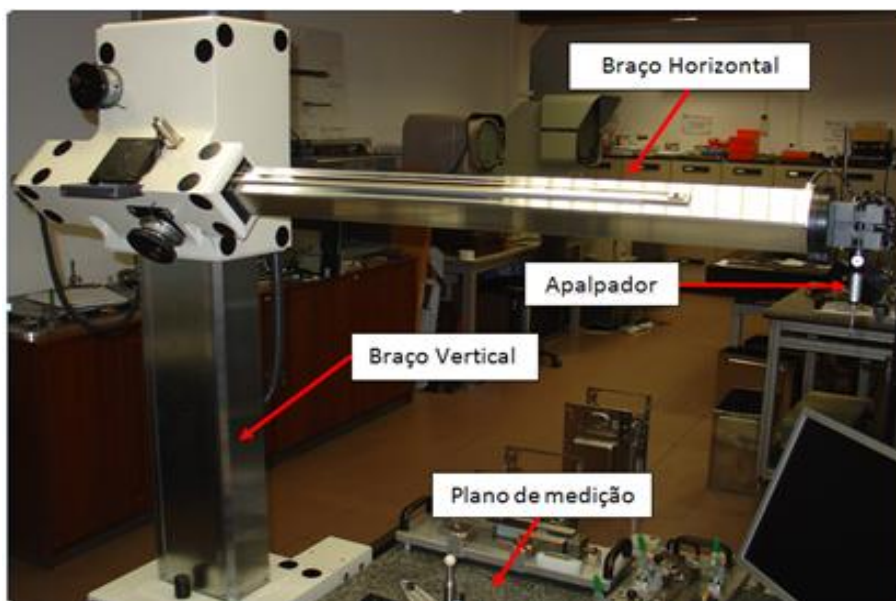


Figura 19 - Medidor tridimensional

Todos os dados recolhidos de cada forno foram recolhidos da mesma forma e devidamente identificados, houve a preocupação de garantir a rastreabilidade relativa às peças que

compõem cada forno – produto final. A montagem dos componentes nos fornos é feita por uma só pessoa em cada posto, para evitar o máximo possível de falha humana.

Para uma melhor percepção do método de medição e sequência dos números segue uma pequena instrução:

- 1- Colocar o forno num plano com a frente voltada para cima;
- 2- Tocar com o apalpador da tridimensional na sequência de pontos de 1 a 21, referentes ao plano da frente da carcaça e os quais deveriam ser próximo de 0 mm para garantir a planidade.
- 3- Passando para o plano do assentamento da dobradiça, que é negativo em relação ao plano da frente, tocar os pontos 22 a 25. Estes deveriam ser próximos de -8,5 mm para garantir a planidade desse plano.
- 4- Por fim tocar nos pontos 26 a 35, que são os pontos referentes às laterais da frente. Esse plano é superior ao plano da frente e deveria obter-se valores próximos de 16,5 para garantir a planidade desse plano.

Depois de medidas a porta e a carcaça na metrologia, o forno é reencaminhado novamente para a linha de montagem onde se realiza a respectiva montagem do conjunto Porta/Carcaça. Quando forno estava preparado para efectuar os ensaios eléctricos e funcionais, era medido a força da dobradiça com e sem perfil de silicone. Também essa medição era realizada igualmente em todos os fornos, perpendicularmente ao plano da porta.

Seguidamente aos ensaios, era verificado a existência ou não de condensação (Fuga de vapor de água) na frente da carcaça. Caso houvesse, era medido a área dessa condensação com um paquímetro e o forno era reparado caso a operadora visse necessário.

Antes de iniciar o estudo e a recolha semanal de 5 fornos, realizava-se na empresa um controlo em que consistia efectuar a medição da planidade em 2 conjuntos porta/carcaça por semana, mas sem a medição da força da dobradiça, e diariamente media-se a força da dobradiça em outros 6 fornos de vapor. Porém esses valores também serão utilizados no tratamento de dados. Para ilustrar a dimensão das amostras recolhidas segue a tabela 3.

Tabela 3 - Dimensão das amostras

Total de conjuntos Portas/Carcaças medidos	Total de forças das dobradiças medidas	Total de Conjunto Portas/Carcaças + Forças das Dobradiças + Fugas de Vapor
66	298	35

Seguidamente é feito o tratamento e análise dos dados. Para tal, recorreu-se primeiramente ao software Excel, realizando assim a organização dos dados de forma a simplificar a leitura e percepção dos mesmos e ao “SPSS” (Statistical Package for Social Sciences) para aplicar as técnicas estatísticas.

3.7 Análise dos Resultados

3.7.1 Plano da Frente do Forno

Para o *plano da frente* foi recolhida uma amostra de 66 fornos, nos quais foram medidos uma sequência de 21 pontos em cada forno para verificar a planidade da frente da carcaça. Para facilitar a análise de zonas e de cotas, os pontos foram divididos em perímetro central e perímetro exterior, com os pontos de 1 a 12 e 13 a 19, respectivamente. (ver figura 17)

“O diagrama de extremos-e-quartis, ou caixa de bigodes, é uma útil representação gráfica dos dados na detecção de outliers, e na análise da simetria e de sub-intervalos de concentração da amostra de valores.” (Ferreira, 1999)

“O gráfico baseia-se na localização dos quartis (1º quartil, 2º quartil ou mediana, 3º quartil), que definem assim quatro sub-intervalos, cada um dos 25% das observações: 1º intervalo quartílico, delimitado pelo X_{\min} e quartil_1 ; 2º intervalo, delimitado pelo quartil_1 e quartil_2 ; 3º intervalo, definido pelo quartil_2 e quartil_3 ; 4º intervalo, desde o quartil_3 ao X_{\max} ” (Ferreira, 1999).

Primeiramente está representado através da caixa de bigodes, o comportamento do plano da frente de todos os fornos em cada ponto (ver figura 17). Através da análise deste gráfico pode-se encontrar e eliminar os fornos que possuam pontos outliers extremos.

Assim os fornos que estão identificados numericamente no gráfico são aqueles que foram eliminados da amostra, de forma a não interferirem nos resultados.

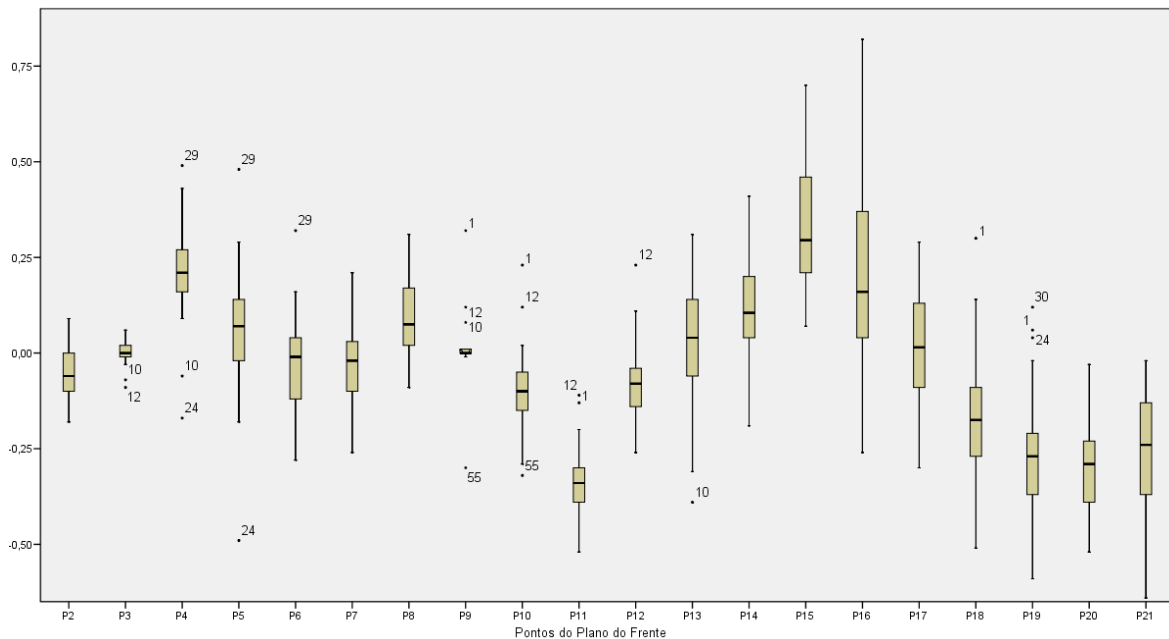


Figura 20 – “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano da frente

- Não há fornos com amplitudes correspondentes às cotas inferiores a 0,5 mm.
- Os fornos 12 e 10 foram mal iniciados na medição, ou seja, houve erro de medição do operador.
- O ponto 16 é o que apresenta maior variação de cotas e o ponto 9 menor.
- O ponto 15 possui sempre cotas superiores a 0, e os pontos 11, 19, 20 e 21 possuem cotas sempre inferiores a 0.
- A planidade da frente dos fornos varia, na maior parte das vezes, entre 0,5 e 1 mm.

A média (\bar{x}) dos pontos nesses 59 fornos está representada na tabela seguinte, bem como o desvio padrão (S) e amplitude (Δ) relativa às cotas de cada forno. Os fornos assinalados a negrito são os que serão eliminados da amostra.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas para os dados do plano da frente

Forno	\bar{X}	S	Δ
1	0,09	0,22	1,00
2	0,02	0,28	1,19
3	-0,09	0,21	0,91
4	-0,07	0,23	0,89
5	-0,05	0,19	0,78
6	-0,05	0,23	0,79
7	0,06	0,26	0,86
8	-0,10	0,27	1,15
9	-0,10	0,27	1,12
10	-0,11	0,17	0,60
11	0,03	0,24	0,84
12	-0,04	0,18	0,75
13	0,03	0,35	1,49
14	-0,11	0,19	0,66
15	0,03	0,30	1,23
16	-0,11	0,22	0,75
17	-0,02	0,25	0,99
18	-0,06	0,22	0,92
19	0,02	0,23	0,91
20	-0,09	0,23	1,07
21	-0,09	0,36	1,34
22	-0,04	0,27	0,93
23	-0,01	0,19	0,81
24	-0,04	0,21	0,96
25	0,00	0,23	1,03
26	0,03	0,22	0,89
27	0,06	0,31	1,27
28	-0,04	0,17	0,60
29	-0,04	0,25	0,93
30	0,12	0,30	1,29
31	0,03	0,36	1,52
32	-0,05	0,19	0,71
33	-0,01	0,16	0,60
34	-0,01	0,18	0,73
35	0,02	0,18	0,68
36	-0,04	0,19	0,74
37	-0,01	0,17	0,69
38	0,01	0,22	0,71
39	0,06	0,19	0,63
40	-0,06	0,16	0,57
41	0,01	0,17	0,54
42	-0,01	0,18	0,56
43	-0,04	0,18	0,65
44	-0,01	0,17	0,62
45	-0,06	0,15	0,56
46	0,06	0,16	0,51
47	-0,01	0,15	0,53
48	0,04	0,17	0,70
49	0,02	0,15	0,52
50	-0,01	0,13	0,49
51	-0,01	0,19	0,61
52	0,02	0,16	0,79
53	0,03	0,18	0,75
54	-0,06	0,17	0,71
55	-0,13	0,28	0,95
56	-0,09	0,14	0,49
57	-0,08	0,22	0,84
58	-0,06	0,16	0,57
59	-0,07	0,20	0,68
60	-0,10	0,22	0,73
61	-0,13	0,21	0,68
62	-0,05	0,20	0,69
63	-0,09	0,13	0,49
64	-0,08	0,24	0,85
65	-0,06	0,24	0,80
66	-0,03	0,23	0,91

Seguidamente pode ver-se o histograma com a variabilidade da distribuição dos dados recolhidos para o plano da frente. O valor de prova (nível de significância) deverá ser superior à 0,05 para garantir uma proximidade à normalidade, caso contrário “rejeita-se a hipótese nula” e conclui-se que os valores não são aproximadamente normais.

Todos os histogramas construídos para os dados do plano da frente, plano de assentamento da dobradiça, plano das laterais e plano da porta, apresentam variação da distribuição e

pontos fora da especificação. Apesar de as médias estarem dentro ou muito próximo dos limites de especificação, os valores do desvio padrão e amplitude são elevados, e consequentemente os índices Cp e Cpk, quando aplicados, são baixos (< 1), o que torna o processo incapaz.

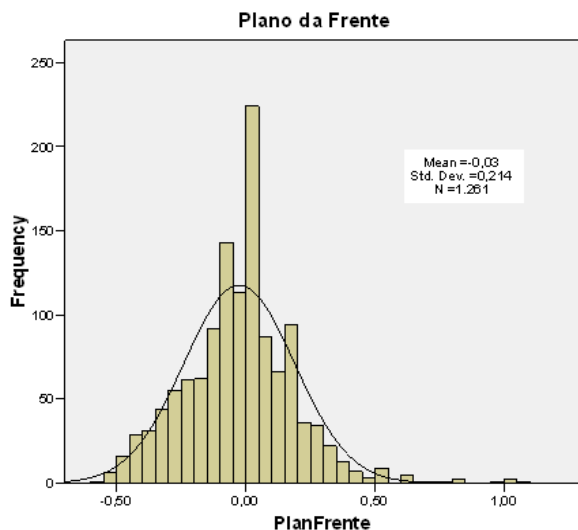


Figura 21 – Histograma dos dados do plano da frente

O histograma apresenta uma distribuição simétrica com alguma dispersão dos dados. No teste K-S verifica-se a rejeição da hipótese de normalidade (valor de prova igual a 0,00).

Existem alguns valores próximos de 1mm. Os limites de especificação são -0,1 (limite inferior) e 0,1 (limite superior).

A percentagem de pontos fora das especificações é de 59%.

Também é importante estudar a normalidade nos dados dos pontos, para tal aplicou-se novamente o teste K-S e obteve-se tabela 5. Desta pode-se concluir que a distribuição em cada ponto é aproximadamente normal, com a exceção dos pontos 3, 9 e 15 que possuíam valores de prova igual a 0,001, 0,000, 0,038 respectivamente. Para que esses pontos tivessem distribuição aproximadamente normal foram retirados para o ponto 3 os fornos 2, 6 e 7 com os valores das cotas 0,2, 0,1 e 0,1 respectivamente, para o ponto 15 os fornos 13, 30 e 31 com os valores das cotas 1,03, 1,05 e 1,06 respectivamente. Para o ponto 9, mesmo retirando 10 fornos aproximadamente, com valores demasiadamente fora de especificação, não existe normalidade.

A estatística descritiva é aplicada aos fornos de vapor em cada um dos pontos, por exemplo, em média os fornos de vapor tem um valor de 0,22 mm no ponto 4, com um desvio padrão de 0,08, amplitude de 0,34 mm entre todos os fornos e os respectivos índices de capacidade Cp e Cpk de 0,41 e -0,49.

Tabela 5 - Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano da frente

Pontos	N	Média	Desvio Padrão	Amplitude	Valor de Prova (Kolmogorov-Smirnov)	Cp	Cpk
2	59	-0,050	0,060	0,27	0,767	0,55	0,28
3	56	0,011	0,038	0,23	0,156	0,90	0,81
4	59	0,222	0,082	0,34	0,685	0,41	-0,49
5	59	0,062	0,098	0,40	0,331	0,34	0,13
6	59	-0,029	0,109	0,44	0,318	0,31	0,22
7	59	-0,025	0,101	0,47	0,971	0,33	0,25
8	59	0,095	0,099	0,40	0,791	0,34	0,02
9	59	-0,014	0,067	0,43	0,000	-	-
10	59	-0,114	0,073	0,34	0,712	0,46	-0,06
11	59	-0,353	0,069	0,32	0,728	0,48	-1,21
12	59	-0,090	0,075	0,37	0,828	0,45	0,05
13	59	0,042	0,140	0,62	0,431	0,24	0,14
14	59	0,119	0,131	0,76	0,879	0,26	-0,05
15	56	0,369	0,235	0,99	0,166	0,14	-0,38
16	59	0,197	0,246	1,08	0,428	0,14	-0,13
17	59	0,022	0,152	0,73	0,873	0,22	0,17
18	59	-0,171	0,132	0,71	0,966	0,25	-0,18
19	59	-0,282	0,128	0,71	0,933	0,26	-0,47
20	59	-0,304	0,113	0,49	0,574	0,29	-0,60
21	59	-0,250	0,127	0,47	0,287	0,26	-0,39

Da tabela 5 conclui-se também que aparentemente não existem diferenças entre as zonas centrais e exterior do plano da frente. Existem aproximadamente 38% dos pontos com valores médios acima de 0,2 mm e potencialmente críticos para o aparecimento de fugas.

Os valores do índice Cp são inferiores a 1, logo o processo diz-se incapaz, ou seja, o processo não corresponde em média aos valores de especificação. Os valores do índice Cpk são diferentes dos respectivos índices Cp, o que significa que o processo está descentrado em relação à média, ou seja, o processo apresenta muita dispersão dos dados e não corresponde com as especificações exigidas. Em alguns casos o índice Cpk é negativo o que significa que a média está fora dos limites de especificação. Para o ponto 9 esses índices não foram calculados pois a distribuição da amostra nesse ponto não é aproximadamente normal.

A figura 22 permite, por comparação dos valores médios, analisar o comportamento do plano, com o objectivo de encontrar zonas críticas. Por exemplo no plano da frente

compara-se o comportamento do plano interior com o exterior, e verifica-se que os pontos 11 e 20 estão na mesma zona e estão ambos negativamente fora do plano 0. A lacuna que existe na linha referente ao plano exterior deve-se ao facto de existir o depósito de água nessa zona, impossibilitando a medição de pontos.

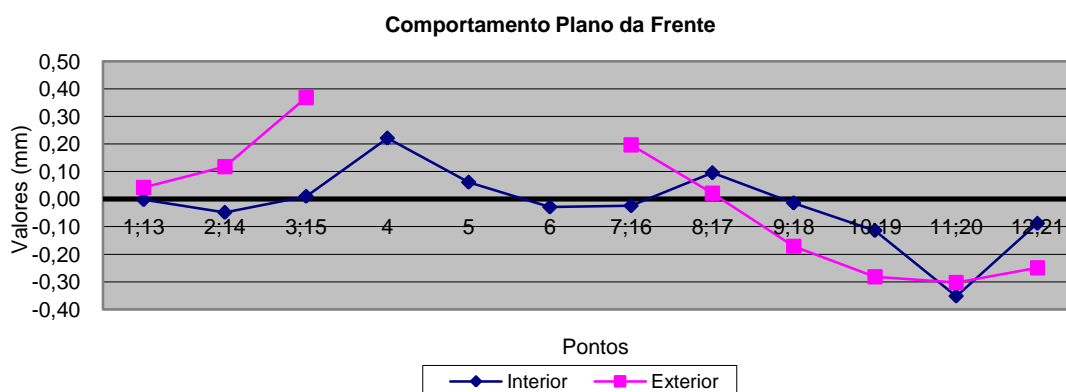


Figura 22 – Comparação média nos pontos interiores e exteriores do plano da frente

Até agora realizou-se um estudo à média dos fornos em cada ponto, a qual obteve-se uma. Seguidamente iram ser apresentadas análises estatística multivariada, como a Análise de Variância e a Análise Factorial.

Anova

A Anova permitirá identificar se os pontos têm todos médias aproximadamente iguais, o que não se verificou no plano da frente, pois o valor de prova foi inferior a 0,05 (valor de prova igual a 0,00). Então através do teste de Tukey irá encontrar-se quais os pontos que possuem valores médios semelhantes e agrupá-los.

Embora os dados não apresentem homogeneidade de variância, a Anova poderá ser aplicada pelo facto de os dados terem distribuição aproximadamente normal e dimensões idênticas, muito superior a 30, em todos os grupos de dados (Guimarães e Cabral, 2007).

Tabela 6 – Teste Tukey para o plano da frente

Ponto	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	59	-,3527													
20	59	-,3038	-,3038												
19	59	-,2823	-,2823												
21	59		-,2498	-,2498											
18	59			-,1708	-,1708										
10	59				-,1143	-,1143									
12	59					-,0897	-,0897								
2	59					-,0495	-,0495	-,0495							
6	59						-,0290	-,0290	-,0290						
7	59						-,0247	-,0247	-,0247						
9	59						-,0142	-,0142	-,0142	-,0142					
3	56							,0105	,0105	,0105					
17	59							,0215	,0215	,0215	,0215				
13	59								,0418	,0418	,0418	,0418			
5	59									,0615	,0615	,0615			
8	59										,0953	,0953			
14	59											,1187	,1187		
16	59												,1972	,1972	
4	59													,2222	
15	56														,3688

Na tabela 6 a primeira coluna contém os pontos que estão a ser estudados. A segunda coluna contém as dimensões das amostras, que em todos os planos em estudo pode-se verificar que são superiores a 50. As restantes colunas representam os grupos definidos pelo teste Tukey que apresentam valores médios semelhantes.

Por exemplo, os dados dos pontos 11, 20 e 19 possuem médias semelhantes e por isso são agrupados na coluna 1. Os pontos 21 e 18 possuem médias semelhantes e por isso são agrupados no grupo 3.

Este teste mostrou resultados plausíveis, já que os grupos formados contém pontos próximos uns dos outros, como no exemplo anterior, o ponto 19 e 20 estão próximos.

Análise Factorial

A Análise Factorial permitirá identificar grupos de pontos que se relacionam entre si, ou seja, que apresentam padrões de variação semelhantes para os vários fornos.

Para efectuar a Análise Factorial foi utilizado o método dos componentes principais e analisada uma série de tabelas fornecidas pelo SPSS:

- Valor de KMO $\geq 0,5$
- Matriz correlação anti-imagem com valores da diagonal (MSA) $\geq 0,5$
- Matriz das comunalidades
- Matriz da variância total explicada
- Matriz dos componentes rodada (varimax)

Na matriz correlação anti-imagem foram retirados, por terem valores inferior a 0,5, da análise os pontos 15 e 14 do plano da frente. O valor de KMO melhorou de 0,489 para 0,577.

No plano da frente os valores das comunalidades variaram entre 0,479 para o ponto 3, logo seguido de 0,601 para o ponto 13 e 0,945 para o ponto 20.

Tabela 7 – Variância total explicada (plano da frente)

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,015	27,860	27,860	2,894	16,080	16,080
2	2,830	15,721	43,581	2,488	13,822	29,902
3	1,923	10,685	54,266	2,347	13,040	42,942
4	1,789	9,937	64,203	2,306	12,812	55,755
5	1,437	7,981	72,184	2,283	12,684	68,439
6	1,237	6,870	79,054	1,911	10,615	79,054
7	,836	4,645	83,698			
8	,651	3,616	87,314			
9	,602	3,342	90,657			
10	,474	2,635	93,292			
11	,343	1,905	95,197			
12	,277	1,541	96,738			
13	,182	1,010	97,748			
14	,129	,718	98,466			
15	,115	,637	99,103			
16	,081	,448	99,551			
17	,058	,324	99,875			
18	,022	,125	100,000			

O critério de selecção do número de factores foi o dos valores próprios superiores a 1 (“Eigenvalues”). Neste caso o número de factores é 6 e explicam 79,054% da variância total, como se observa na tabela 7.

Tabela 8 – Matriz dos componentes rodada (plano da frente)

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Ponto2						,817
Ponto3			,457		-,412	
Ponto4				,898		
Ponto5		,288		,870		
Ponto6			,589	,646		
Ponto7			,686	,466		
Ponto8					,428	,758
Ponto9		,487			,708	
Ponto10		,826	,291			
Ponto11		,711				,414
Ponto12		,765				
Ponto13	,409		-,328			,497
Ponto16			,895			
Ponto17			,438		,717	,311
Ponto18					,828	
Ponto19	,863	,313				
Ponto20	,921					
Ponto21	,912					

Rotation converged in 6 iterations.

Para facilitar a visualização dos dados foram retirados os valores absolutos inferiores a 0,3.

A matriz dos componentes rodada proporciona de uma forma simplificada a associação das variáveis em função dos factores. Em cada linha assinala-se o valor mais alto, depois consulta-se as colunas e o grupo de valores assinalados significa que influenciam mais esse factor (coluna) do que outros. O sinal negativo significa que o grupo de pontos apresentam padrões de variação oposto.

A figura 23 ilustra os grupos de pontos que se relacionam entre si. Também aqui os resultados são plausíveis, já que os grupos de pontos estão próximos ou numa mesma linha direccional.

O teste diz que o ponto 3 do plano da frente pertence ao grupo dos pontos 7 e 16, e o ponto 8 ao grupo dos pontos 2 e 13. Mesmo não estando próximos estes pertencem a uma mesma linha direccional. Os pontos assinalados serão analisados, e juntamente com a análise do teste Tukey poderão ser substituídos de forma a reduzir os números de medições e consequentemente reduzir o tempo e trabalho.

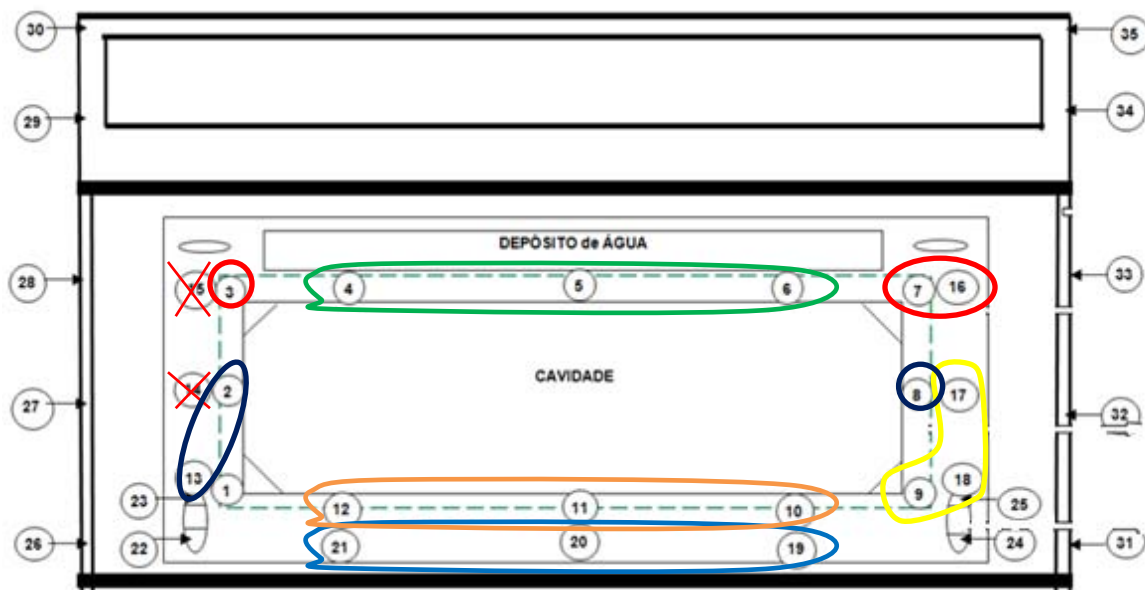


Figura 23 – Pontos do plano da frente que se relacionam entre si

Com os resultados fornecidos pela Análise Factorial e juntamente com a análise das tabelas do teste Tukey, pode-se reduzir o número de pontos a medir da seguinte forma:

- Pontos que relacionam-se entre si e possuam médias semelhantes podem ser substituídos por um deles.
- Pontos que relacionam-se entre si e possuam médias diferentes, conclui-se que têm tendencialmente cotas diferentes.
- Pontos que não relacionam-se entre si e possuam médias semelhantes, não será legítimo agrupá-los.
- Pontos que não relacionam-se entre si e possuam médias diferentes também não podem ser substituídos.

Depois de analisar os resultados da análise factorial e teste Tukey obteve-se as seguintes conclusões:

- Os pontos 4, 5 e 6 relacionam-se entre si e não possuem médias semelhantes, porém o ponto 5 pode ser eliminado pois a sua cota está sempre entre as cotas do ponto 4 (superior) e 6 (inferior).

- Os pontos 10, 11 e 12 relacionam-se entre si e os pontos 10 e 12 possuem médias semelhantes, com as cotas sempre inferior ao ponto 11, por isso podem ser eliminados.
- Os pontos 19, 20 e 21 relacionam-se entre si e possuem médias semelhantes, por isso podem ser substituídos por um deles.
- Os pontos 9, 18 e 17 relacionam-se entre si e os pontos 9 e 17 possuem médias semelhantes e por isso o 9 e 17 podem ser substituídos por um deles.
- Os pontos 3, 7 e 16 relacionam-se entre si e os pontos 3 e 7 possuem médias semelhantes e por isso o 3 e 7 podem ser substituídos pelo ponto 3.
- Os pontos 2, 8 e 13 relacionam-se entre si e os pontos 8 e 13 possuem médias semelhantes e por isso o 8 e 13 podem ser substituídos pelo ponto 8.
- Os pontos 26, 27, 32 e 33 podem ser eliminados pois as suas cotas estão sempre entre as cotas do ponto 28 (máximo) e 31 (mínimo).

Na figura 24 está representado os pontos que serão necessários medir.

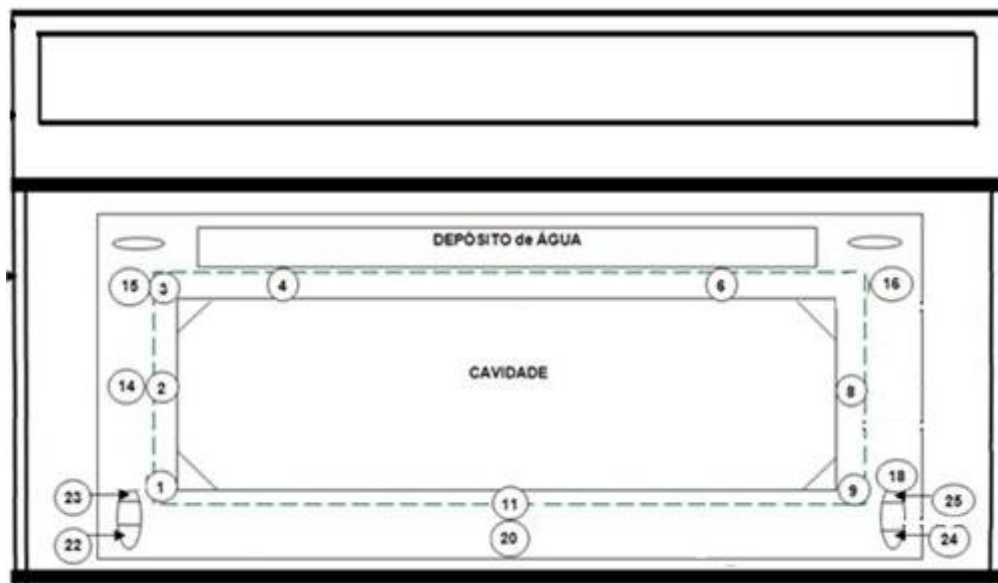


Figura 24 – Pontos necessários medir para o plano da frente

3.7.2 Plano de Assentamento das Dobradiças

O plano de assentamento da dobradiça segue a sequência de medição dos pontos do plano da frente, pois são medidos na mesma altura. O plano de assentamento da dobradiça está aproximadamente 7,8 mm inferior ao plano da frente, e o 7,8 mm será o 0 para esse plano (ver figura 17). A dimensão da amostra é de 64 fornos, depois de retirados os outliers.

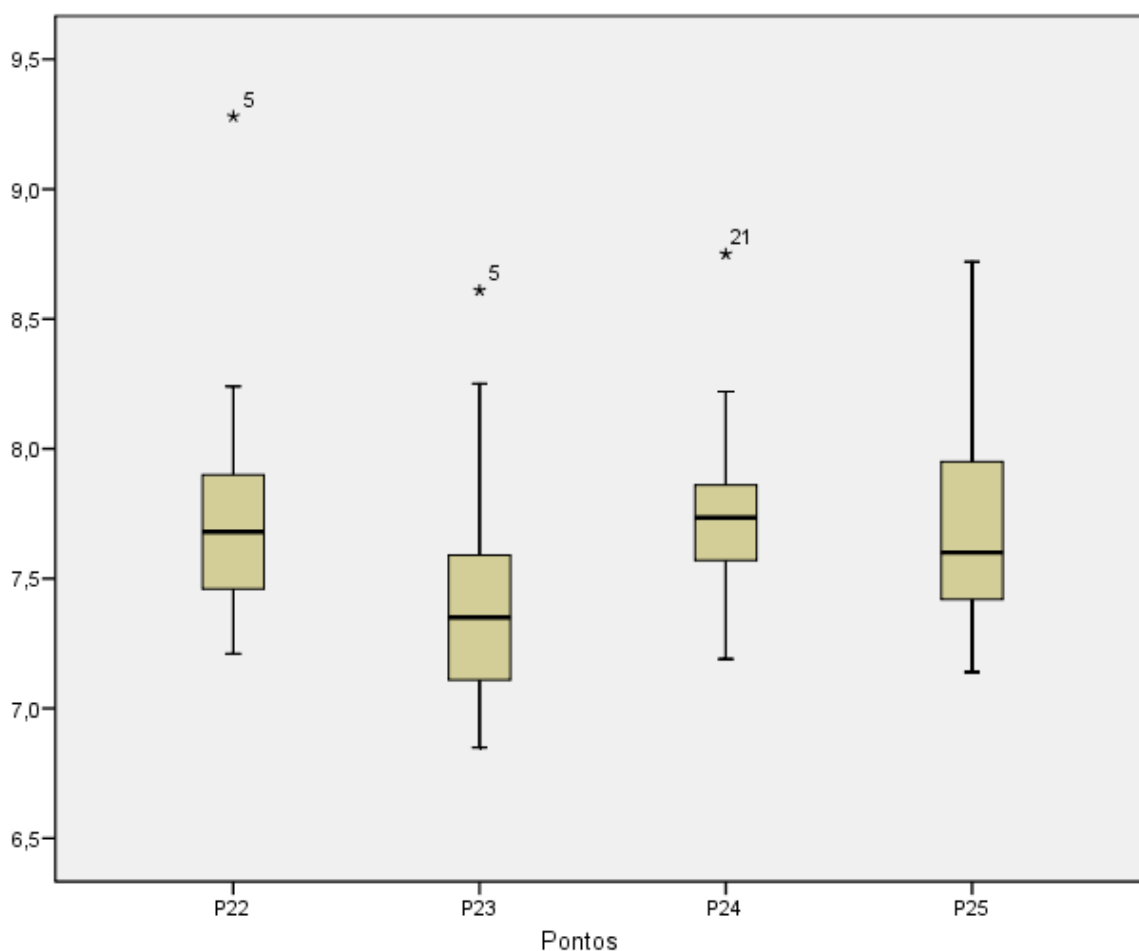


Figura 25 – “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano de assentamento da dobradiça

→ Os pontos 22 e 23 estão do lado esquerdo e o 24 e 25 do lado direito, sendo que o 22 e 24 estão numa mesma linha superior à cota de especificação de 7,8 mm e o 23 e 25 numa mesma linha inferior a essa cota.

→ Os planos de assentamentos das dobradiças, tanto o da direita como o da esquerda apresentam uma ligeira inclinação para a mesma direcção, porém o plano da esquerda mostra-se mais vezes inferior ao plano da direita.

Tabela 9 - Estatísticas descritivas para os dados do plano de assentamento da dobradiça

Forno	\bar{X}	S	Δ
1	7,75	0,28	0,59
2	8,05	0,36	0,79
3	8,07	0,36	0,51
4	8,13	0,33	0,68
5	8,65	0,53	1,28
6	8,09	0,19	0,41
7	7,80	0,16	0,32
8	8,20	0,08	0,17
9	7,74	0,23	0,54
10	7,76	0,28	0,61
11	7,45	0,26	0,55
12	7,51	0,18	0,43
13	7,43	0,42	0,90
14	7,85	0,25	0,53
15	7,73	0,17	0,39
16	7,79	0,29	0,65
17	7,73	0,18	0,39
18	7,65	0,24	0,55
19	7,43	0,20	0,48
20	7,93	0,18	0,38
21	8,28	0,53	1,06
22	7,94	0,14	0,33
23	7,33	0,17	0,38
24	7,57	0,20	0,44
25	7,41	0,27	0,57
26	7,33	0,32	0,70
27	7,57	0,14	0,32
28	7,61	0,15	0,35
29	7,60	0,27	0,58
30	7,61	0,11	0,16
31	8,17	0,14	0,34
32	8,07	0,25	0,57
33	8,09	0,30	0,71

Forno	\bar{X}	S	Δ
34	7,94	0,24	0,53
35	8,09	0,30	0,73
36	8,03	0,35	0,84
37	8,03	0,23	0,56
38	8,18	0,34	0,83
39	8,12	0,21	0,40
40	8,25	0,16	0,32
41	8,22	0,46	0,97
42	8,25	0,18	0,43
43	8,27	0,22	0,47
44	8,10	0,28	0,66
45	7,99	0,30	0,72
46	8,01	0,18	0,41
47	8,00	0,15	0,35
48	8,01	0,20	0,42
49	8,10	0,20	0,45
50	8,10	0,12	0,27
51	8,19	0,34	0,80
52	7,95	0,15	0,31
53	8,14	0,20	0,47
54	8,12	0,25	0,53
55	8,29	0,36	0,77
56	8,39	0,34	0,80
57	8,40	0,34	0,73
58	8,39	0,26	0,62
59	8,47	0,30	0,68
60	8,01	0,25	0,58
61	8,53	0,08	0,15
62	8,49	0,15	0,32
63	8,25	0,21	0,52
64	8,37	0,25	0,55
65	8,54	0,18	0,41
66	8,34	0,21	0,47

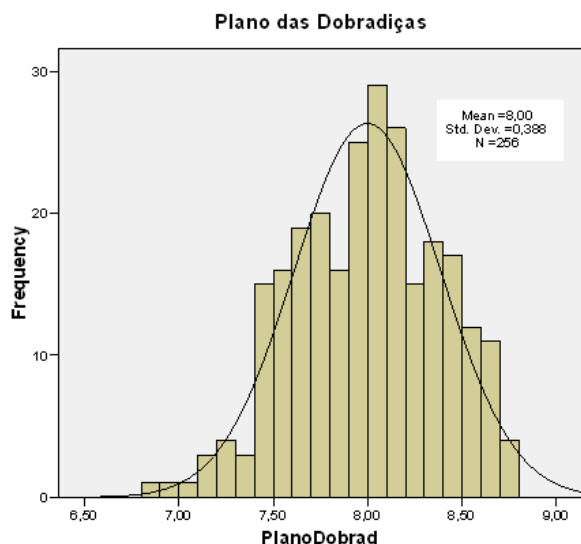


Figura 26 - Histograma dos dados do plano das dobradiças

Os dados recolhidos apresentam uma distribuição simétrica com grande dispersão, mas fora dos limites de especificação que são 7,6 mm (limite inferior) e 8 mm (limite superior).

Segundo o teste K-S de normalidade, pode considerar-se que esta amostra foi recolhida de uma população com uma distribuição aproximadamente normal (valor de prova 0,657).

Os valores de Cp e Cpk são respectivamente 0,21 e -0,25 para o ponto 22; 0,18 e -0,50 para o 23; 0,18 e -0,17 para o 24; 0,17 e -0,20 para o 25.

A percentagem de pontos fora das especificações é de 69,5%

Tabela 10 - Teste K-S e estatísticas descritivas para pontos do plano de assentamento da dobradiça

Pontos	N	Média	Desvio Padrão	Amplitude	Valor de Prova (Kolmogorov-Smirnov)	Cp	Cpk
22	64	8,062	0,321	1,45	0,726	0,21	-0,25
23	64	7,748	0,366	1,62	0,967	0,18	-0,50
24	64	8,111	0,373	1,32	0,525	0,18	-0,17
25	64	8,070	0,384	1,45	0,539	0,17	-0,20

Segundo o teste K-S pode-se verificar que a distribuição dos dados em cada ponto é também aproximadamente normal.

Os valores do índice Cp também são inferiores a 1, logo o processo diz-se incapaz. Os valores do índice Cpk são diferentes dos respectivos índices Cp, o que significa que o processo está descentrado em relação à média. Nos 4 pontos deste plano o índice Cpk é negativo o que significa que a média está fora dos limites de especificação.

A anova para o plano de assentamento da dobradiça apresentou um valor de prova igual a 0,00 e conclui-se que as médias não são aproximadamente iguais, ou seja, existe pelo menos um ponto com média diferente. Através do teste Tukey da tabela 11 verifica-se que o ponto 23 é o único que possui média diferente.

Tabela 11 - Teste Tukey para o plano de assentamento da dobradiça

Pontos	N	1	2
23,00	64	7,7482	
22,00	64		8,0622
25,00	64		8,0699
24,00	64		8,1105

Para o plano de assentamento da dobradiça o valor do KMO é de 0,622, porém a análise factorial não faz grande sentido pois o número de pontos é reduzido e todos os pontos ficaram agrupados em um factor.

3.7.3 Plano das Laterais do Forno

O *plano das laterais* segue também a sequência de pontos do plano da frente e os valores estão aproximadamente 16,5 mm acima do plano da frente (ver figura 17). A dimensão da amostra é de 63 fornos, depois de retirados os outliers.

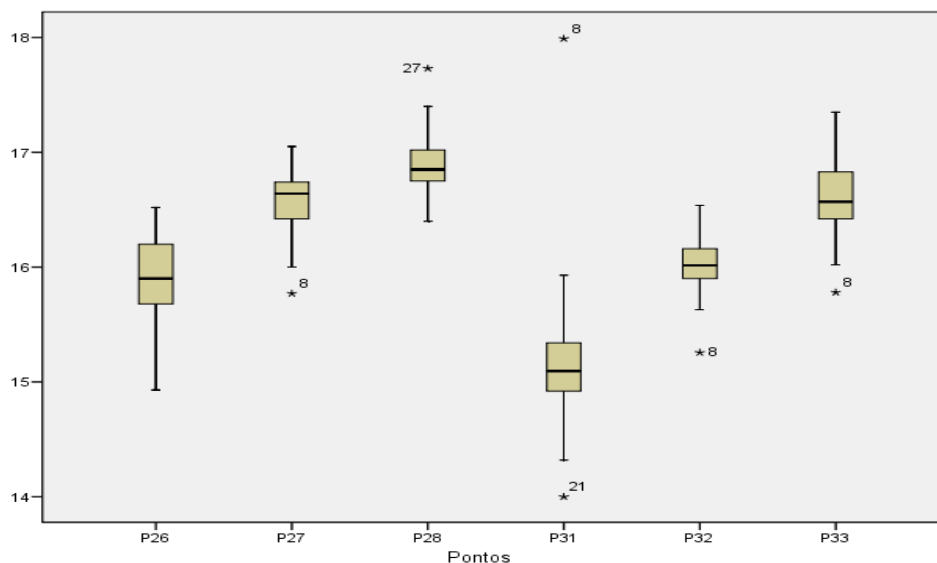


Figura 27 – “Caixas de bigodes” para os pontos do plano das laterais

- Também aqui a análise é análoga ao plano de assentamento da dobradiça. Na figura 27, ambos os planos, direito e esquerdo, apresentam uma inclinação direccional semelhante em relação ao plano correcto.
- Os pontos 26, 27 e 28 estão do lado esquerdo e o 31, 32 e 33 do lado direito, sendo que o 26 e 31 estão numa mesma linha inferior à cota de especificação de 16,5 mm e o 28 e 33 numa mesma linha inferior a essa cota.
- O plano da direita é, em geral, mais baixo do que o da esquerda.

Tabela 12 - Estatísticas descritivas para os dados do plano das laterais

Forno	\bar{X}	S	Δ
1	16,46	0,61	1,71
2	16,39	0,96	2,72
3	16,37	0,59	1,62
4	16,16	0,63	1,69
5	16,33	0,57	1,54
6	16,09	0,67	1,61
7	16,53	0,49	1,39
8	16,19	1,00	2,82
9	16,03	0,98	2,69
10	16,02	0,71	1,65
11	16,39	0,62	1,62
12	16,09	0,57	1,56
13	16,55	1,04	2,97
14	15,95	0,70	1,79
15	16,38	0,73	2,01
16	15,93	0,67	1,87
17	16,28	0,58	1,58
18	16,12	0,78	2,16
19	16,33	0,79	2,21
20	15,96	1,07	2,71
21	16,04	1,19	3,28
22	16,12	1,03	2,55
23	16,09	0,76	2,14
24	15,99	0,82	2,03
25	16,31	0,79	2,25
26	16,21	0,80	2,08
27	16,29	1,26	3,33
28	15,99	0,74	1,94
29	15,77	0,59	1,54
30	16,56	1,01	2,37
31	16,26	1,19	3,21
32	16,15	0,62	1,66
33	16,26	0,71	1,83

Forno	\bar{X}	S	Δ
34	16,30	0,69	1,96
35	16,25	0,66	1,74
36	16,37	0,55	1,50
37	16,14	0,66	1,88
38	16,29	0,74	1,98
39	16,35	0,54	1,37
40	16,15	0,53	1,49
41	16,24	0,65	1,73
42	16,14	0,64	1,66
43	16,09	0,59	1,59
44	16,14	0,60	1,65
45	16,19	0,67	1,74
46	16,21	0,54	1,49
47	16,35	0,54	1,47
48	16,25	0,64	1,74
49	16,20	0,61	1,60
50	16,17	0,56	1,48
51	16,29	0,50	1,28
52	16,37	0,46	1,29
53	16,30	0,57	1,56
54	16,24	0,52	1,37
55	15,99	0,91	2,37
56	16,20	0,51	1,35
57	16,07	0,77	2,04
58	16,20	0,70	1,77
59	16,17	0,70	1,84
60	15,88	0,77	1,98
61	16,04	0,58	1,52
62	16,08	0,67	1,80
63	16,14	0,49	1,29
64	16,39	0,53	1,43
65	16,02	0,75	2,07
66	16,35	0,66	1,69

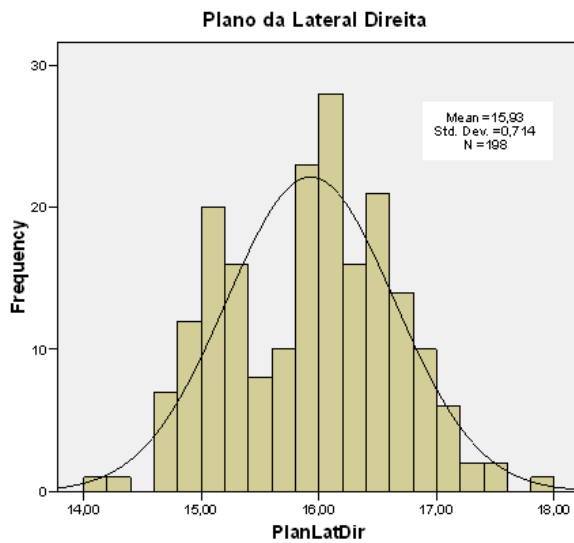


Figura 28 - Histograma dos dados do plano da lateral direita

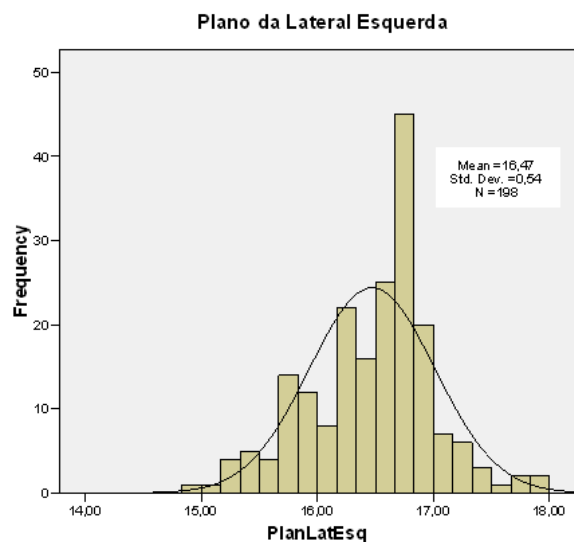


Figura 29 - Histograma dos dados do plano da lateral esquerda

Neste caso a distribuição é ligeiramente assimétrica em ambos os casos, com valores fora dos limites de especificação que são 16,3 mm (limite inferior) e 16,7 mm (limite superior).

Segundo o teste K-S de normalidade, pode considerar-se que a amostra referente à lateral direita foi recolhida de uma população com uma distribuição aproximadamente normal (valor de prova 0,221), já para a amostra referente à lateral esquerda verifica-se a rejeição da hipótese de normalidade (valor de prova 0,013).

Os valores de C_p e C_{pk} são respectivamente 0,22 e -1,27 para o ponto 31; 0,25 e -0,34 para o 32; 0,21 e 0,08 para o 33.

A percentagem de pontos fora das especificações é de 74% para a lateral direita e 82,3 % para a lateral esquerda.

Tabela 13 – Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano das laterais

Pontos	N	Média	Desvio Padrão	Amplitude	Valores de Prova (Kolmogorov-Smirnov)	C_p	C_{pk}
26	63	15,884	0,363	1,59	0,788	0,18	-0,38
27	63	16,611	0,224	1,31	0,441	0,30	0,13
28	59	16,940	0,327	1,47	0,114	0,20	-0,24
31	63	15,128	0,308	1,62	0,789	0,22	-1,27
32	63	16,026	0,267	1,49	0,518	0,25	-0,34
33	63	16,628	0,324	1,45	0,730	0,21	0,08

Da tabela 13 pode-se concluir que a distribuição em cada ponto é aproximadamente normal, com a excepção do ponto 28 (valor de prova 0,012). Para o ponto 28 da lateral, retirou-se o forno 2, 13, 30 e 31 com os valores das cotas 17,87; 17,85; 17,73 e 17,81 respectivamente, e pode considerar-se que a amostra referente aos pontos da lateral direita foi recolhida de uma população com uma distribuição aproximadamente normal.

Neste caso o processo também diz-se incapaz pois os valores do índice C_p são inferiores a 1. O processo está descentrado em relação à média, ou seja, o processo apresenta muita dispersão dos dados e não corresponde com as especificações exigidas. Em alguns casos o índice C_{pk} é negativo o que significa que a média está fora dos limites de especificação.

Tabela 14 - Teste Tukey para o plano das laterais

Pontos	N	1	2	3	4
31,00	63	15,1284			
26,00	63		15,8841		
32,00	63		16,0260		
27,00	63			16,6106	
33,00	63			16,6275	
28,00	59				16,9403

Os 6 pontos foram agrupados em 4 grupos, sendo que os pontos grupo 2 possuem médias semelhantes mas não estão numa mesma linha direcciona, tal facto também ocorre nos pontos do grupo 3 (ver figura 17).

Para o plano das laterais a análise factorial não pode ser aplicada pois o KMO é sempre < 0,5, mesmo retirando os pontos com MAS inferior a 0,5.

3.7.4 Plano da Porta

Para o *plano da porta* foi recolhida uma amostra de 60 portas, onde foi medida uma sequência de 21 pontos para cada forno (ver figura 15). Esses pontos estão distribuídos de forma a coincidir com os pontos do plano da frente e assim encontrar a folga no fecho da porta.

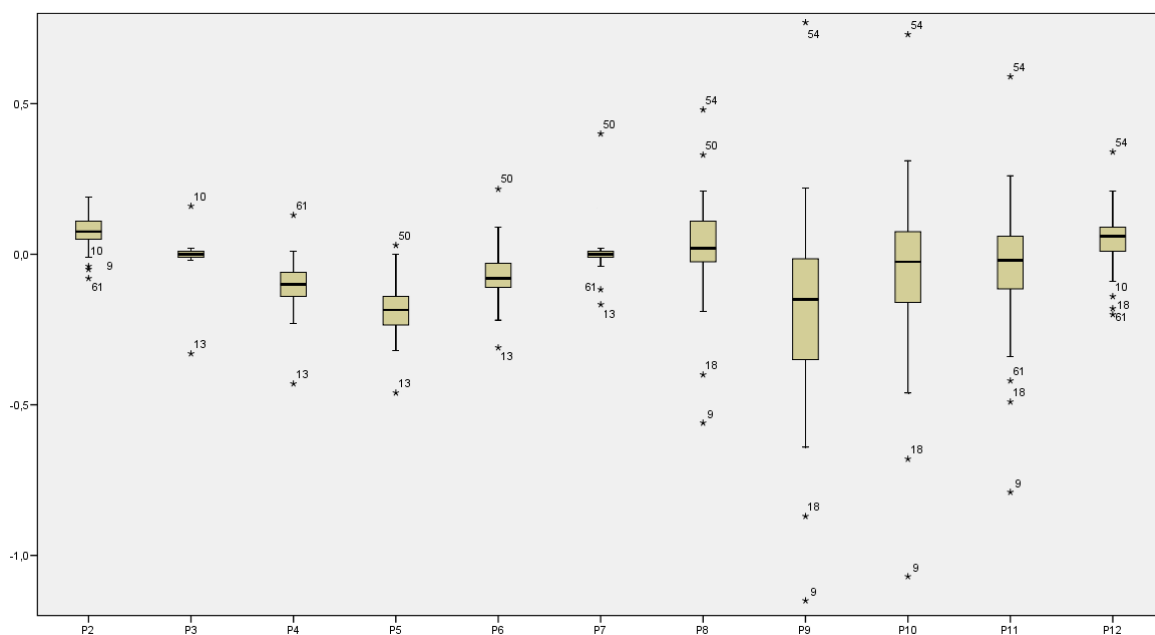


Figura 30 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano perímetro central das portas

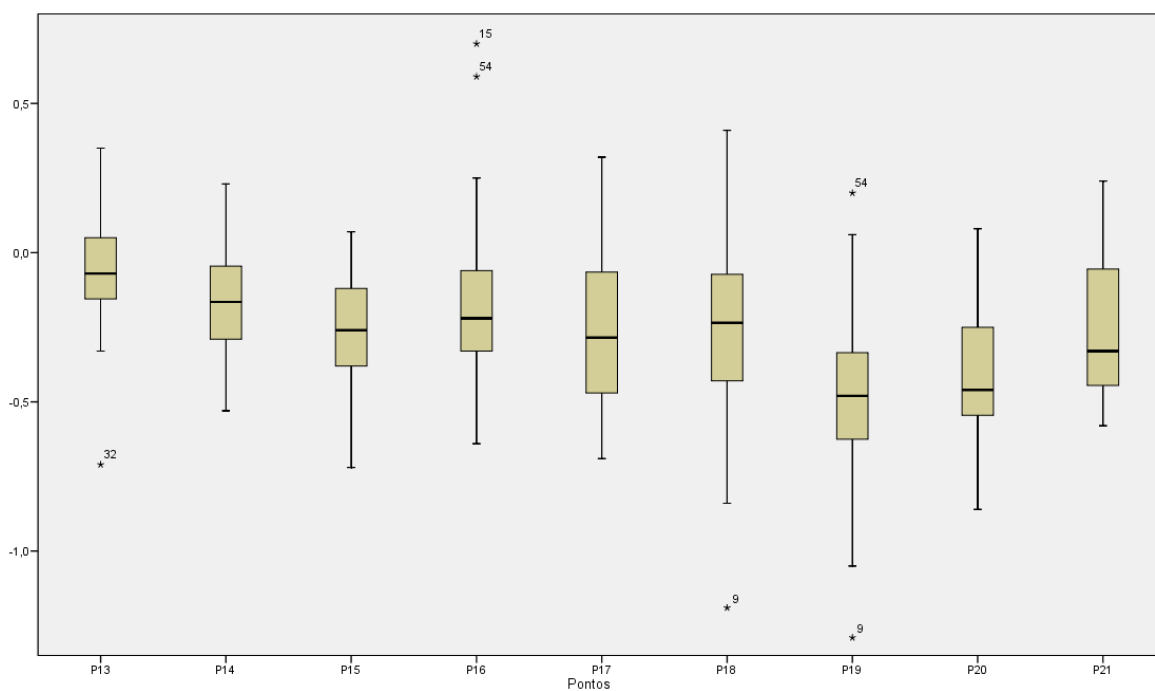


Figura 31 - “Caixas de Bigodes” para os pontos do plano perímetro exterior das portas

→ No total foram eliminados 9 pontos outliers (dimensão da amostra igual a 51).

→ O forno 10 foi mal iniciado e como tal será eliminado.

- O perímetro central ou interior da porta é constituído por material metálico e o perímetro exterior é constituído por material plástico. O tipo de material pode influenciar a planidade, daí a análise ser realizada separadamente.
- No plano interior da porta os valores das cotas estão muito próximo de 0, somente nos pontos 9, 10 e 11 tal proximidade não ocorre.
- Já no plano exterior da porta os valores das cotas possuem variação de ponto para ponto e de forno para forno, não apresentando nenhuma tendência. Isso deve-se ao facto de no material plástico ser difícil garantir planidade.

Como o tipo de material (propriedades mecânicas e físicas) pode influenciar a planidade, elaborou-se o gráfico apresentado na figura 32 que contém as médias das cotas dos pontos em cada forno e obteve-se as seguintes conclusões:

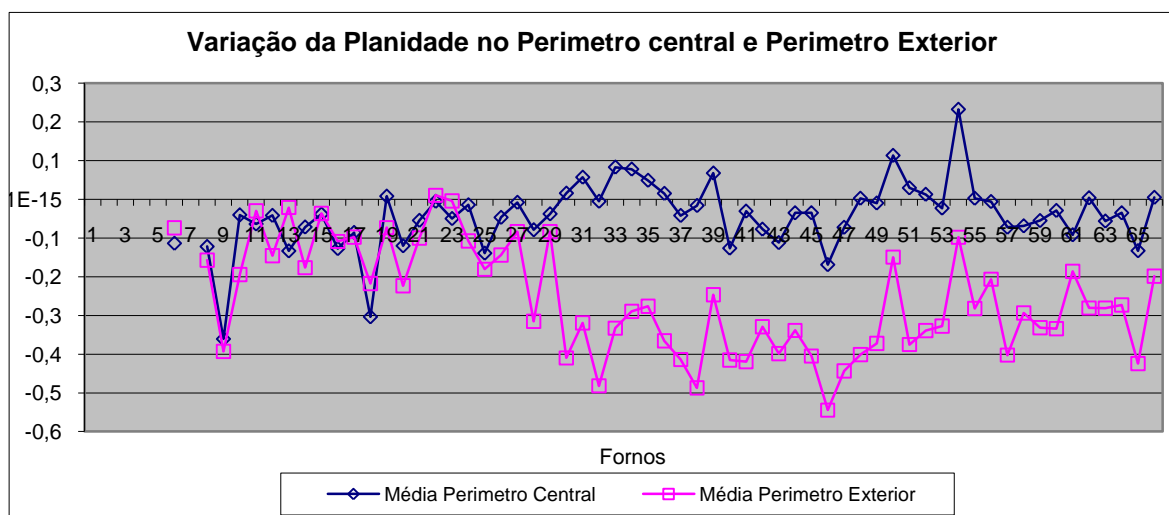


Figura 32 – Variação média dos pontos em cada forno para os dois perímetros

- Neste gráfico pode-se verificar na maioria dos fornos, o valor médio dos pontos é diferente para cada material.
- Contudo essa diferença só é notoriamente verificada a partir do forno 30, o que leva a concluir que o processo de fabrico do aro plástico ou o processo de montagem sofreu algum tipo de alteração, influenciando negativamente a planidade da porta.

Seguidamente realizou-se um teste t para amostras emparelhadas para verificar se o tipo de material influencia a planidade ou não, e valor de prova foi igual a 0,000 ($< 0,05$). A figura 32 mostra um comportamento notoriamente diferente antes e depois do ponto 30 e por isso foi realizado novamente o teste para os 29 primeiros fornos e depois para os fornos seguintes. O valor de prova foi igual a 0,004 e 0,000 respectivamente, e por isso conclui-se que o tipo de material influencia a planidade.

Tabela 15 - Estatísticas descritivas para os dados das portas

Planos	Porta (Central)			Porta (Exterior)		
Forno	\bar{X}	S	Δ	\bar{X}	S	Δ
6	-0,11	0,13	0,44	-0,07	0,14	0,39
8	-0,12	0,16	0,42	-0,16	0,21	0,61
9	-0,36	0,45	1,15	-0,39	0,59	1,41
10	-0,04	0,10	0,36	-0,19	0,21	0,61
11	-0,06	0,19	0,76	-0,03	0,20	0,72
12	-0,04	0,09	0,32	-0,15	0,10	0,29
13	-0,13	0,21	0,55	-0,02	0,14	0,43
14	-0,07	0,11	0,37	-0,18	0,22	0,61
15	-0,04	0,20	0,74	-0,04	0,33	1,17
16	-0,13	0,16	0,57	-0,11	0,25	0,69
17	-0,09	0,10	0,31	-0,10	0,13	0,41
18	-0,30	0,29	0,92	-0,22	0,38	1,22
19	0,01	0,15	0,51	-0,07	0,22	0,70
20	-0,12	0,16	0,44	-0,22	0,24	0,62
21	-0,05	0,10	0,32	-0,10	0,11	0,32
22	-0,01	0,13	0,39	0,01	0,31	0,68
23	-0,05	0,14	0,44	0,00	0,17	0,54
24	-0,01	0,12	0,37	-0,11	0,19	0,58
25	-0,14	0,16	0,55	-0,18	0,20	0,59
26	-0,05	0,14	0,53	-0,14	0,34	0,96
27	-0,01	0,11	0,33	-0,08	0,16	0,50
28	-0,08	0,12	0,43	-0,32	0,23	0,67
29	-0,04	0,15	0,56	-0,08	0,26	0,79
30	0,02	0,09	0,33	-0,41	0,30	0,88
31	0,06	0,13	0,36	-0,32	0,27	0,67
32	-0,01	0,10	0,32	-0,48	0,11	0,40
33	0,08	0,15	0,48	-0,33	0,15	0,51
34	0,08	0,16	0,50	-0,29	0,12	0,36
35	0,05	0,14	0,42	-0,28	0,13	0,40
36	0,02	0,17	0,65	-0,37	0,18	0,52
37	-0,04	0,13	0,50	-0,41	0,24	0,66
38	-0,02	0,11	0,43	-0,49	0,20	0,65
39	0,07	0,07	0,21	-0,25	0,22	0,63
40	-0,13	0,17	0,63	-0,42	0,38	1,19
41	-0,03	0,09	0,23	-0,42	0,10	0,24
42	-0,08	0,11	0,39	-0,33	0,30	0,94
43	-0,11	0,14	0,50	-0,40	0,29	0,79
44	-0,03	0,08	0,29	-0,34	0,22	0,64
45	-0,03	0,09	0,32	-0,40	0,23	0,59
46	-0,17	0,21	0,73	-0,54	0,34	1,03
47	-0,07	0,10	0,36	-0,44	0,24	0,72
48	0,00	0,07	0,21	-0,40	0,18	0,60
49	-0,01	0,07	0,24	-0,37	0,12	0,41
50	0,11	0,14	0,41	-0,15	0,24	0,70
51	0,03	0,22	0,83	-0,38	0,11	0,37
52	0,01	0,07	0,24	-0,34	0,19	0,51
53	-0,02	0,10	0,28	-0,33	0,12	0,36
54	0,01	0,07	0,24	-0,34	0,19	0,51
55	0,00	0,09	0,27	-0,28	0,21	0,64
56	-0,01	0,08	0,25	-0,21	0,15	0,44
57	-0,07	0,10	0,30	-0,40	0,21	0,63
58	-0,07	0,13	0,39	-0,29	0,22	0,65
59	-0,05	0,09	0,28	-0,33	0,20	0,56
60	-0,03	0,09	0,32	-0,33	0,16	0,46
61	-0,09	0,17	0,58	-0,19	0,25	0,59
62	0,00	0,14	0,42	-0,28	0,21	0,55
63	-0,06	0,09	0,29	-0,28	0,12	0,31
64	-0,03	0,09	0,29	-0,27	0,21	0,56
65	-0,13	0,16	0,56	-0,42	0,23	0,62
66	0,01	0,11	0,36	-0,20	0,16	0,53

Para os primeiros 6 fornos não foram medidas portas, por isso a numeração das portas inicia-se em 6.

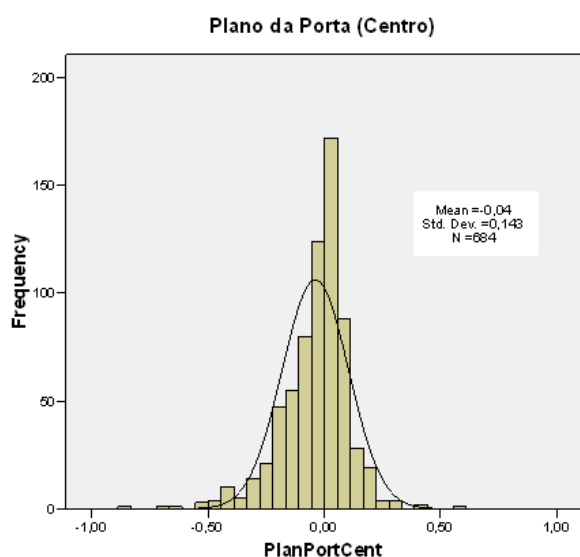


Figura 33 - Histograma dos dados do plano da Porta (Central)

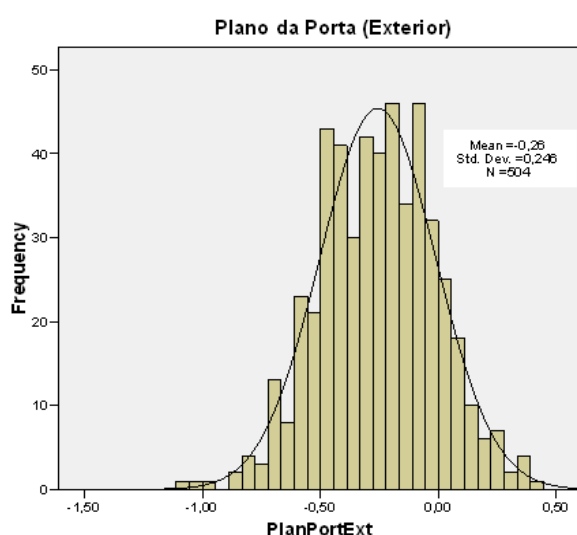


Figura 34 - Histograma dos dados do plano da Porta (Exterior)

A distribuição também é ligeiramente assimétrica, com valores fora dos limites de especificação de -0,1 mm (limite inferior) e 0,1 mm (limite superior).

No teste K-S para a amostra do perímetro central da porta verifica-se a rejeição da hipótese de normalidade (valor de prova igual a 0,00), já a amostra referente ao plano exterior da porta foi recolhida de uma população com uma distribuição aproximadamente normal (valor de prova 0,632).

Os valores de Cp e Cpk para os pontos do perímetro exterior da porta são:

Pontos	Cp	Cpk
13	0,21	0,12
14	0,19	-0,12
15	0,18	-0,31
16	0,17	-0,19
17	0,13	-0,23
18	0,12	-0,15
19	0,14	-0,51
20	0,17	-0,50
21	0,14	-0,22

A percentagem de pontos fora das especificações é de 40% para o perímetro central e 78,8 % para o perímetro exterior.

Da tabela 16 pode-se concluir que a distribuição em cada ponto da porta é aproximadamente normal, com a exceção dos pontos 3 e 7 que possuíam valores de prova igual a 0,001 e 0,000 respectivamente. Para que o ponto 7 tivesse distribuição aproximadamente normal foram retiradas as portas, 6, 14, 15, 39, 51, 57, 58 e 61 com os valores das cotas -0,09, 0,14, 0,33, 0,15, -0,06, -0,16, -0,12 e -0,08 respectivamente.

Tabela 16 – Teste K-S e estatísticas descritivas para os pontos do plano da porta

Pontos	N	Média	Desvio Padrão	Amplitude	Valores de Prova (Kolmogorov-Smirnov)	Cp	Cpk
2	57	0,079	0,048	0,27	0,406	0,71	0,14
3	57	-0,009	0,047	0,13	0,001	-	-
4	57	-0,105	0,078	0,35	0,499	0,53	0,01
5	57	-0,182	0,094	0,39	0,716	0,41	-0,32
6	57	-0,075	0,091	0,49	0,365	0,44	0,12
7	57	0,006	0,085	0,49	0,051	0,52	0,51
8	57	0,031	0,132	0,65	0,590	0,29	0,19
9	57	-0,174	0,240	1,24	0,831	0,15	-0,10
10	57	-0,048	0,182	0,77	0,971	0,21	0,12
11	57	-0,033	0,148	0,68	0,228	0,24	0,18
12	57	0,048	0,083	0,45	0,488	0,43	0,21
13	56	-0,043	0,157	0,68	0,237	0,21	0,12
14	56	-0,160	0,174	0,82	0,997	0,19	-0,12
15	56	-0,266	0,179	0,76	0,870	0,19	-0,31
16	56	-0,210	0,193	0,88	0,872	0,17	-0,19
17	56	-0,275	0,255	1,02	0,696	0,13	-0,23
18	56	-0,230	0,284	1,25	0,988	0,12	-0,15
19	56	-0,479	0,247	1,27	0,991	0,14	-0,51
20	56	-0,399	0,199	0,88	0,239	0,17	-0,50
21	56	-0,256	0,231	0,82	0,055	0,14	-0,22

Os valores do índice Cp são inferiores a 1, logo o processo não corresponde em média aos valores de especificação. Os valores do índice Cpk são diferentes dos respectivos índices Cp, o que significa que o processo está descentrado em relação à média, ou seja, o processo apresenta muita dispersão dos dados e não corresponde com as especificações exigidas. Existe alguns pontos em que a média está fora dos limites de especificação (Cpk negativo). Para o ponto 3 esses índices não foram calculados pois a distribuição da amostra nesse ponto não é aproximadamente normal.

Anova

A tabela 17 mostrou resultados plausíveis, já que os grupos formados contêm pontos próximos uns dos outros. Porém os grupos estão muito sobrepostos, existe pontos que pertencem a 4 grupos diferentes, como por exemplo o 14.

Tabela 17 - Teste Tukey para o plano da porta

Ponto	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	56	-,4793								
20	56	-,3994								
17	56		-,2751							
15	56		-,2656							
21	56		-,2564							
18	56		-,2299							
16	56		-,2096	-,2096						
5	57		-,1825	-,1825	-,1825					
9	57		-,1737	-,1737	-,1737					
14	56		-,1603	-,1603	-,1603	-,1603				
4	57			-,1049	-,1049	-,1049	-,1049			
6	57				-,0754	-,0754	-,0754	-,0754		
10	57					-,0482	-,0482	-,0482	-,0482	
13	56						-,0431	-,0431	-,0431	
11	57						-,0333	-,0333	-,0333	-,0333
3	57						-,0086	-,0086	-,0086	-,0086
7	57						,0061	,0061	,0061	,0061
8	57							,0311	,0311	,0311
12	57								,0481	,0481
2	57									,0789

Análise Factorial

Na matriz correlação anti-imagem foram retirados, por terem valores inferior a 0,5, da análise o ponto 3 do plano da porta. O valor de KMO melhorou de 0,675 para 0,717.

No plano da porta os valores das comunalidades variaram entre 0,506 para o ponto 16, logo seguido de 0,641 para os pontos 2 e 0,950 para o ponto 10.

Tabela 18 - Variância total explicada (plano da porta)

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,141	27,058	27,058	4,300	22,629	22,629
2	4,340	22,843	49,902	3,625	19,079	41,708
3	2,518	13,253	63,155	2,921	15,376	57,084
4	1,958	10,306	73,460	2,309	12,150	69,235
5	1,182	6,221	79,681	1,985	10,446	79,681
6	,874	4,599	84,280			
7	,618	3,254	87,535			
8	,454	2,390	89,924			
9	,420	2,212	92,136			
10	,333	1,754	93,890			
11	,283	1,488	95,378			
12	,200	1,055	96,433			
13	,178	,935	97,369			
14	,143	,755	98,124			
15	,106	,558	98,682			
16	,099	,520	99,202			
17	,078	,409	99,610			
18	,058	,305	99,915			
19	,016	,085	100,000			

O critério de selecção do número de factores foi o dos valores próprios superiores a 1 (“Eigenvalues”). Neste caso o número de factores é 5 e explicam 79,681% da variância total, como observa-se na tabela 18.

Tabela 19 - Matriz dos componentes rodada (plano da porta)

	Component				
	1	2	3	4	5
Ponto2				,728	
Ponto4			,929		
Ponto5		-,392	,847		
Ponto6			,927		
Ponto7					-,761
Ponto8	,712				-,399
Ponto9	,835				
Ponto10	,941				
Ponto11	,945				
Ponto12	,793		,373		
Ponto13				,834	
Ponto14				,875	
Ponto15	-,337				,660
Ponto16		,300	-,314		,500
Ponto17		,892			
Ponto18	,362	,800			
Ponto19	,353	,818			
Ponto20		,753			,419
Ponto21		,685			,461

Rotation converged in 6 iterations.

A figura 35 ilustra os grupos de pontos que se relacionam entre si. Também aqui os resultados são plausíveis, já que os grupos de pontos estão próximos ou numa mesma linha direcciona.

O teste diz que o ponto 15 do plano da porta pertence ao grupo dos pontos 7 e 16. Mesmo não estando próximos estes estão numa mesma linha direcciona. Os pontos assinalados serão analisados, e juntamente com a análise do teste Tukey poderão ser substituídos de forma a reduzir os números de medições e consequentemente reduzir o tempo e trabalho.

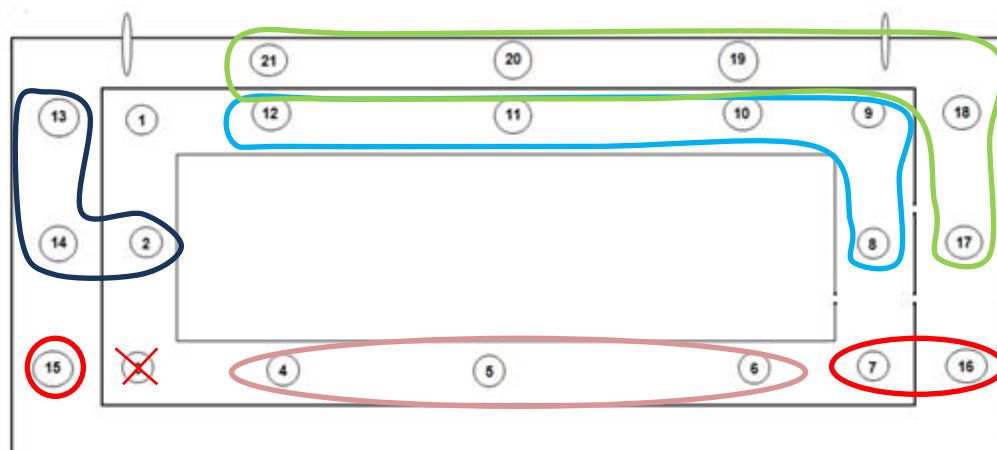


Figura 35 – Pontos com comportamento semelhantes no plano da porta

Depois de analisar os resultados da análise factorial e teste Tukey obteve-se as seguintes conclusões:

- Os pontos 4, 5 e 6 relacionam-se entre si e possuem médias semelhantes e por isso o ponto 4 e 6 podem ser substituídos pelo 5.
- Os pontos 8, 9, 10, 11 e 12 relacionam-se entre si e os pontos 8, 10, 11 e 12 possuem médias semelhantes e por isso o ponto 8, 10 e 12 foram substituídos pelo 11.
- Os pontos 17, 18, 19, 20 e 21 relacionam-se entre si e os pontos 19 e 20 possuem médias semelhantes e por isso foram substituídos pelo 19, os pontos 17, 18 e 21 também possuem médias semelhantes e foram substituídos pelo 17.
- Os pontos 7, 15 e 16 relacionam-se entre si e os pontos 15 e 16 possuem médias semelhantes e por isso o ponto 15 e 16 foram substituídos pelo 15.
- Os pontos 2, 13 e 14 relacionam-se entre si e não possuem médias semelhantes e não podem ser substituídos ou eliminados.

Na figura 36 está representado os pontos que serão necessários medir.

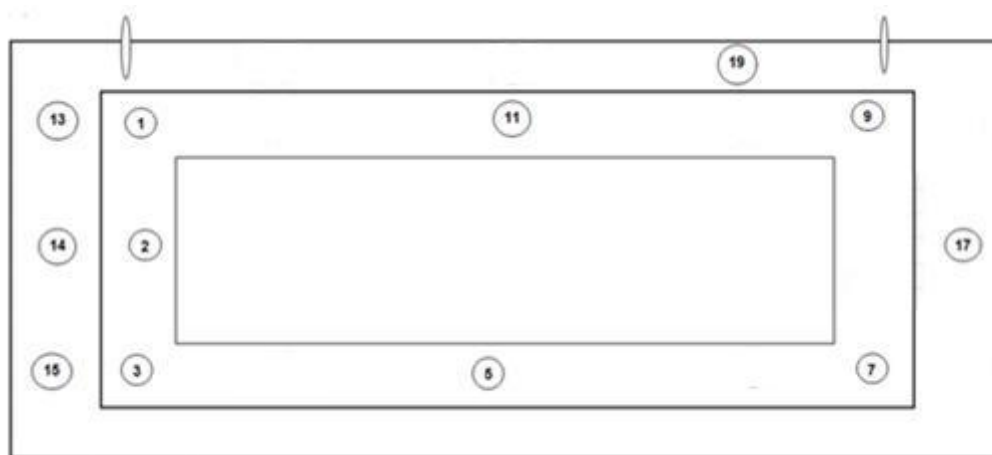


Figura 36 – Pontos necessários medir para o plano da porta

3.7.5 Força das Dobradiças

Para a *força das dobradiças* foi recolhida uma amostra de dimensão 298. A diferença de valores, representada na figura 37, entre as medições com e sem perfil de silicone mostra que este influencia no fechamento da porta.

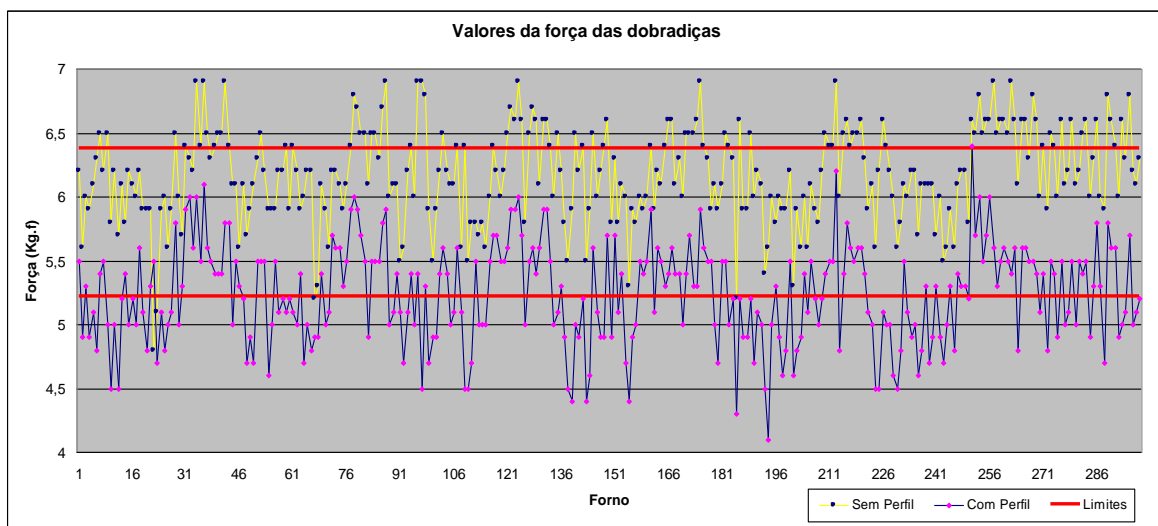


Figura 37 – Valores para a força das dobradiças

- Os fornos 10, 12, 97, 109, 110, 138, 139, 143, 155, 185, 193, 194, 224, 225 e 230 possuem valores inferiores ou iguais a 4,5, ou seja, muito distantes do limite de especificação inferior.
- Nesta análise o importante é focar na força da dobradiça com o perfil, a linha representante sem perfil apenas serve para mostrar que o perfil de silicone influencia e bastante a força da dobradiça, mas este perfil é essencial para o funcionamento do forno.
- O perfil provoca uma diminuição da força média que é necessário para abrir/fechar a porta.
- Os dados referentes à força das dobradiças não possuem nenhuma tendência, e existe uma grande variação.

Tabela 20 - Estatística descritiva para os dados da força da dobradiça

	Pontos	Média	Desvio Padrão (S)	Amplitude (Δ)
Força da Dobradiça	Com perfil de Silicone	5,24	0,39	2,30
	Sem perfil de Silicone	6,17	0,37	2,10

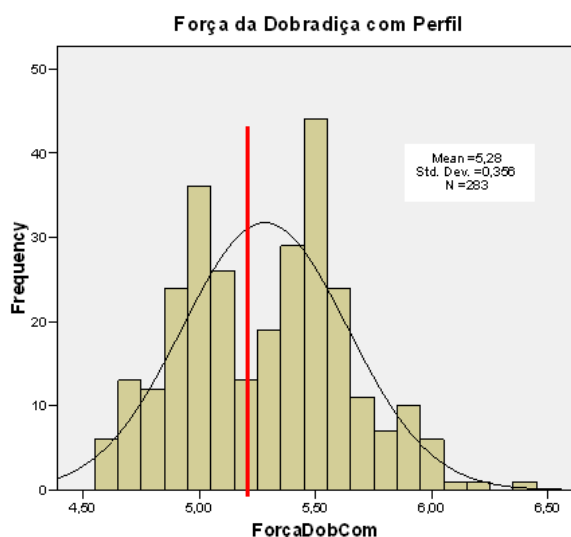


Figura 38 - Histograma dos dados da força da dobradiça

A distribuição é assimétrica, com muitos valores fora os limites de especificação 5,22 mm (limite inferior) e 6,38 mm (limite superior).

No teste K-S verifica-se a rejeição da hipótese de normalidade (valor de prova igual a 0,002).

A percentagem de pontos fora das especificações é de 46,3%, sendo que todos inferiores ao limite

A linha divisória a vermelho na figura 38 mostra que existem dois grupos de amostras que podem ter sido provenientes de populações diferentes. Como a dobradiça é uma peça de fornecimento externo, pode acontecer que as dobradiças em causa tenham sido retiradas de lotes diferentes.

3.7.6 Conjunto Forno e Porta

A figura 39 representa, o valor médio de cotas do plano da frente e plano da porta em cada ponto e a figura 40 representa o valor médio da diferença entre as cotas da porta e o valor médio das cotas do plano em cada ponto. Os valores positivos da figura 40 significam a folga entre a porta e a frente nesse ponto e os valores negativos significam uma “transposição” entre os planos nesse ponto.

A folga mínima para que não haja fuga, é aproximadamente 0,3 mm. Este valor é um valor teórico que foi estimado pela experiência dos operadores, já que não existe ou é muito complicado, encontrar um valor para a folga que garanta a existência ou inexistência de fugas.

Por exemplo no ponto 14 a frente tem um valor positivo (0,11 mm), o que significa na realidade que esse ponto está “saliente” em relação ao plano da frente. Já a porta nesse ponto apresenta um valor negativo (-0,16 mm), o que significa que está “concava” em relação ao plano da porta. Essa conjugação permite avaliar se poderá haver uma folga ou não através da fórmula $[- (\text{cota plano da frente}) - (\text{cota plano da porta})]$, nesse caso seria uma folga de 0,05 mm.

Através das figuras 39, 40 e 41 pode-se efectuar a seguinte análise:

- A parte inferior da frente do forno, descreve um ligeiro arco, com aproximadamente 0,3 mm de profundidade. Essa conclusão obteve-se através da análise dos pontos 10, 11, 12, 18, 19, 20 e 21, que estão situados negativamente na figura 37.

- A porta não apresenta uma sequência lógica de cotas nos pontos. Possui a maioria dos pontos abaixo do plano, mas sem qualquer tipo de sequência.
- Como ambos os planos estão cotados negativamente na zona inferior (pontos 10, 11, 12, 19, 20, 21), a conjugação da porta no forno poderá originar uma grande folga nessa zona. Porém essa folga poderá ser anulada devido ao facto de o plano de assentamento da dobradiça estar acima da cota correcta, ou seja, o plano de assentamento da dobradiça está mais para dentro, o que também irá puxar a porta mais para dentro nessa zona.
- O ponto 15 apresenta um valor muito elevado na frente do forno. Isso deve-se talvez ao facto de existir por detrás deste ponto, a caixa de linguetes (peça que funciona como trinco da porta), essa caixa poderá exercer alguma pressão no momento de aperto, ao qual provoca uma “saliência” no ponto 15.

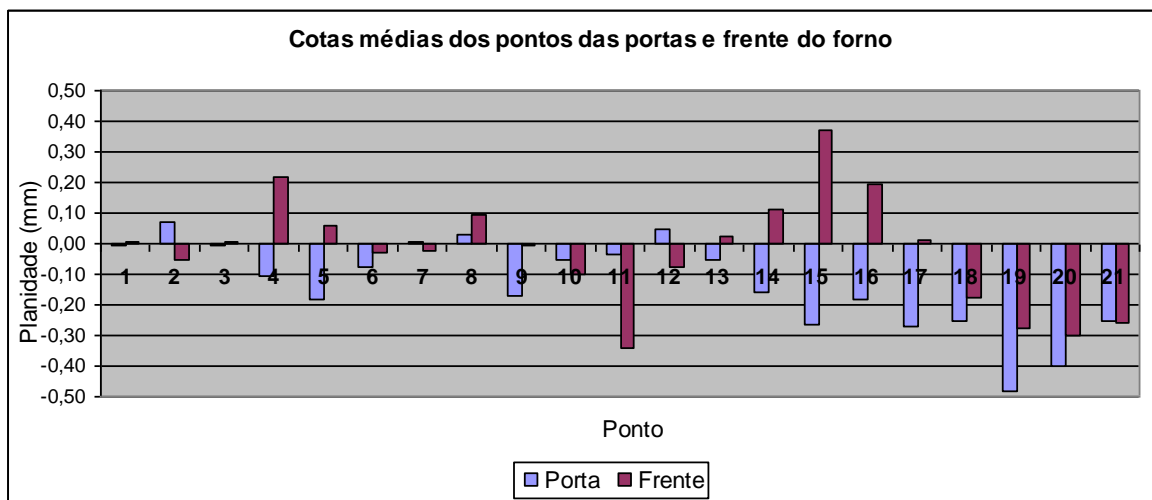


Figura 39 - Gráfico das médias das cotas em cada ponto da porta e frente do forno

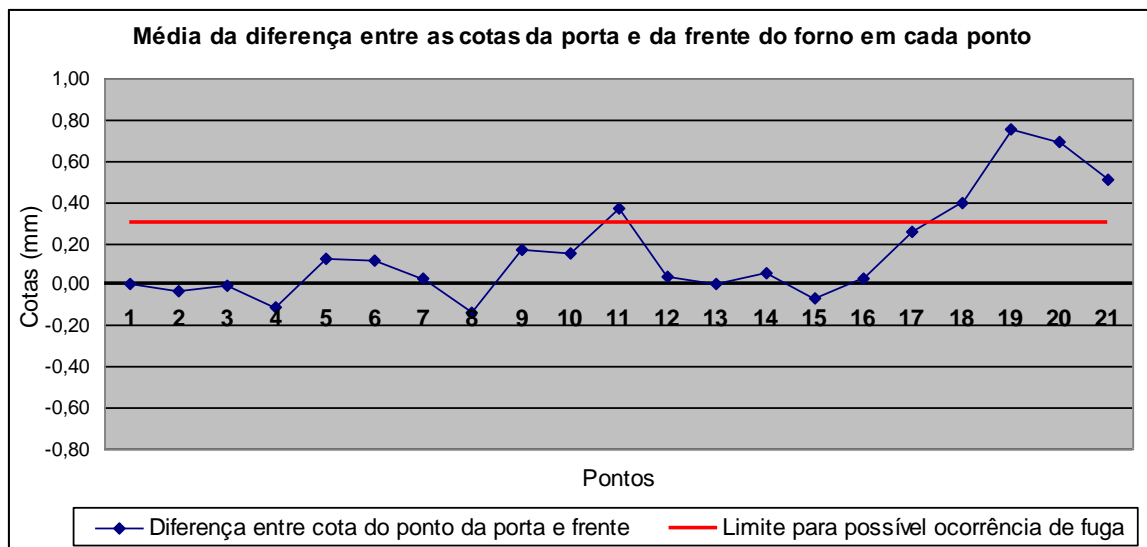


Figura 40 - Gráfico das diferenças entre as médias das cotas em cada ponto da porta e frente

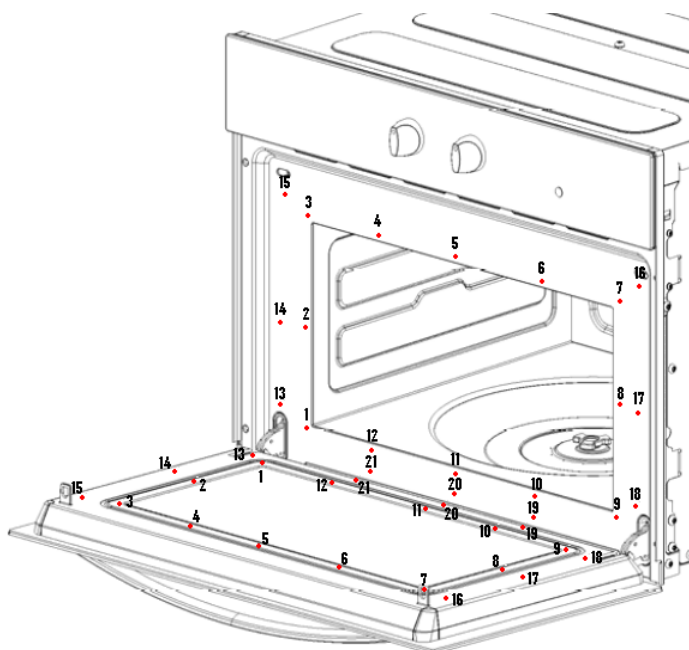


Figura 41 – Pontos do conjunto porta e frente do forno

Através da análise das figuras 39, 40 e 41, pode-se construir a figura 42, que mostra o comportamento global dos planos, bem como às zonas críticas que se situam acima ou abaixo do plano ideal. Os sinais + e – indicam a posição em relação ao plano ideal, o + significa que o ponto ou plano está acima do plano ideal e o – significa que está abaixo.

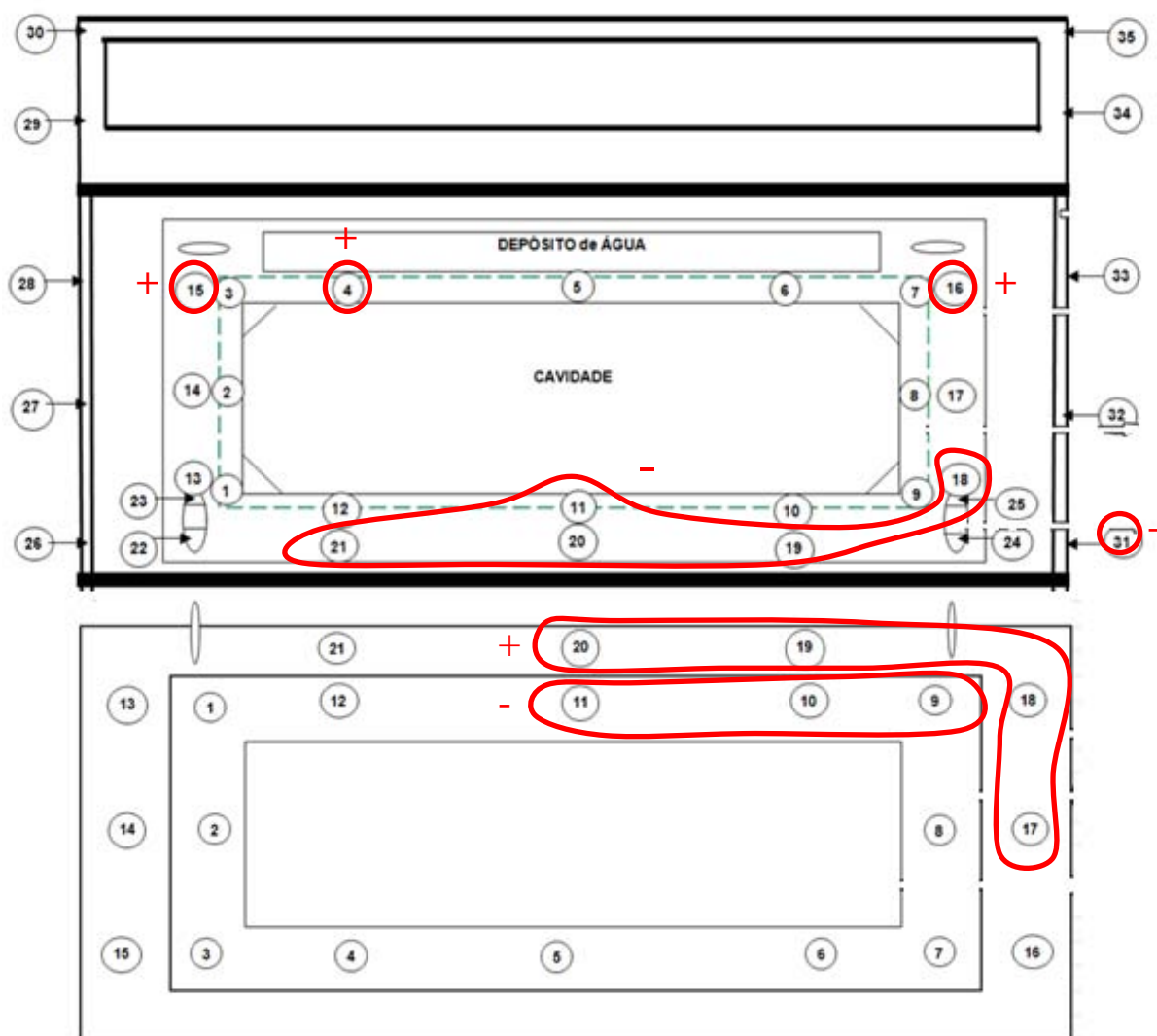


Figura 42 – Representação dos pontos críticos do conjunto

Após obter estas zonas, realizou-se um estudo à normalidade da distribuição do grupo de pontos.

No plano da frente, os pontos 11, 18, 19, 20 e 21 estão próximos e possuem valores médios semelhantes, e possui uma distribuição de amostra aproximadamente normal, dimensão de amostra 300 cotas, com o valor de prova de 0,718.

Os pontos 4, 15 e 16 são pontos elevados em relação ao plano ideal, os pontos 4 e 16 possuem uma distribuição de amostra aproximadamente normal, dimensão de amostra 120 cotas, valor de prova igual a 0,221.

O ponto 15 está ligeiramente mais elevado em valor médio e não deve ser incluído nesse grupo, possui uma amostra de dimensão 60 cotas e com o valor de prova igual a 0,038. De forma a melhorar esse valor de prova e tornar a amostra próxima da normal eliminou-se os fornos 30 e 31 que possuíam os valores mais elevados nesse ponto, e obteve-se o valor de prova de 0,106.

No plano da porta, o conjunto de pontos 9, 10 e 11 do perímetro central e 17, 18, 19 e 20 do perímetro exterior, são pontos baixos em relação ao plano ideal. Estes dois grupos de pontos têm distribuição aproximadamente normal e a dimensão de 395 cotas, com o valor de prova de 0,062, e portanto também com distribuição aproximadamente normal.

Concluiu-se que havia 4 pontos e 2 zonas de pontos críticas que deverão ser confirmadas em estudos posteriores.

Na tabela 21 estão representados os valores das fugas de vapor nos fornos (através da medição em mm da condensação formada) em cada grupo de pontos, e também a folga existente no respectivo grupo de ponto. A dimensão da amostra foi muito reduzida (35 fornos), e além disso a fuga de vapor ocorreu somente nos fornos identificados na tabela o que torna o estudo incompleto. Pelo facto de existirem poucos dados obrigou a uma análise às fugas caso a caso, e verificou-se que as fugas com maiores dimensões de condensação não possuem as maiores folgas, e que os fornos onde ocorreram fugas têm uma folga média de 0,15 mm e os fornos onde não ocorreram fugas têm uma folga de média de 0,17 mm. Assim pode-se concluir que não foi encontrada uma relação entre a folga do forno e a ocorrência de fuga.

Tabela 21 – Resultados para as fugas nos fornos

Grupo de Pontos Forno	5		8, 9, 17, 18		1, 2, 13, 14		2, 3, 14, 15	
	Fuga (mm)	Folga (mm)	Fuga (mm)	Folga (mm)	Fuga (mm)	Folga (mm)	Fuga (mm)	Folga (mm)
12							141,0	0,26
13			15,0	0,19				
14					30,0	0,32		
15								
16	10,0	0,16			27,0	0,16		
17			10,0	0,21	39,0	0,19		
20					57,5	0,26		
33					25,0	0,22		

Seguidamente são analisados os pontos mínimos e máximos para cada plano.

Tabela 22 - Número de fornos em que ocorrem valores máx. e mín. dos pontos em cada plano

Plano da frente				Plano da porta			
Mínimo		Máximo		Mínimo		Máximo	
Ponto	Nº de fornos	Ponto	Nº de fornos	Ponto	Nº de fornos	Ponto	Nº de fornos.
11	34	15	31	19	25	2	16
19	11	16	14	20	9	12	7
20	5	4	9	15	6	13	6
21	5	8	2	5	4	8	5
18	2	5	1	17	3	18	5
Plano de assentamento da dobradiça				9	3	10	5
Mínimo		Máximo		21	3	21	3
Ponto	Nº de fornos	Ponto	Nº de fornos	Plano laterais			
23	51	24	29	Mínimo		Máximo	
24	10	22	20	Ponto	Nº de fornos	Ponto	Nº de fornos
25	3	25	15	31	63	28	47
				26	1	33	11

Na tabela 22 pode-se verificar quais são os pontos máximos e mínimos para cada plano, através do registo do número de repetições desses pontos em cada plano do forno. O objectivo desta análise é tentar encontrar pontos que garantam um limite superior e inferior, ou seja, que as cotas dos pontos estejam sempre entre a cota do limite superior (ponto máximo) e a cota do limite inferior (ponto mínimo).

Assim pode-se concluir que apenas no plano das laterais esses limites foram encontrados (ponto mín. - 31, ponto máx. - 28), já que para os outros casos não se pode afirmar.

- No plano da frente 60% dos valores mínimos ocorrem do ponto 11 e 54% dos valores máximos ocorrem no ponto 15.
- No plano de assentamento da dobradiça 80% dos valores mínimos ocorrem do ponto 23 e 45% dos valores máximos ocorrem no ponto 24.
- No plano das laterais 98% dos valores mínimos ocorrem do ponto 31 e 76% dos valores máximos ocorrem no ponto 28, e portanto pode-se eliminar os outros 4 pontos (26, 27, 32 e 33) do plano das laterais
- No plano da porta 44% dos valores mínimos ocorrem do ponto 19 e 28% dos valores máximos ocorrem no ponto 2.

4 Outras Actividades Desenvolvidas

O estágio iniciou-se com a integração em todos os sectores da qualidade de forma a adquirir um conhecimento de todo o processo produtivo, nomeadamente, a aprovação de amostras na metrologia, o controlo de componentes na recepção de materiais, controlo de componentes de produção interna, auditorias ao produto, ensaios de conformidade e o acompanhamento nas linhas de montagem até ao produto acabado.

- Semanalmente é necessário actualizar as folhas de Excel para os indicadores da qualidade e auditoria, nomeadamente as falhas em linha de montagem, produtos não conforme e reparações. Isso é feito tanto para as linhas de montagem como para as linhas de produção interna. No início de cada mês realiza-se o tratamento dos dados para criar os quadros Kaizen da qualidade em cada linha e a respectiva interpretação dos dados, introduzindo observações para os operadores e acções correctivas necessárias efectuar.
- Elaboração de relatórios 8D sempre que haja um problema mais grave, em que engloba grande quantidade de material rejeitado. Esses relatórios servem para encontrar as causas internas do problema e elimina-los na sua origem, caso seja problema de fornecimento externo, estes são reportados para o responsável.
- Controlo diário da força de abertura da porta do forno de vapor. Esse controlo é feito em 6 fornos, 3 em cada linha e tem o objectivo de certificar que a força de abertura das portas está dentro de parâmetros, já que é uma causa assídua de fuga de vapor de água. Paralelamente a esse controlo realiza-se, com o mesmo objectivo, a medição da planidade da frente do forno e da porta. Isso é feito em 2 fornos por semana, 1 de cada linha. Futuramente irá ser implementado também nos fornos microondas de 38 Litros, em que utiliza a mesma carcaça e porta.
- Sempre que necessário é feito ensaios de amostras, com o respectivo relatório. Os ensaios podem ser de nevoeiro salino, de tracção mecânica, de resistência térmica, teste à resistência do revestimento, etc.

5 Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro

No processo de fabrico do forno de vapor, e em geral, de todos os outros produtos produzidos na Teka, exige uma enorme quantidade de componentes e operações comandadas por diversos colaboradores. Esses factores são necessários para o funcionamento da empresa, não havendo assim grandes hipóteses de agir sobre eles. Contudo eles levam a uma indesejada, mas natural, variabilidade dos dados.

A primeira grande e importante conclusão que se pode tirar deste estudo é que os limites de especificação definidos pela Teka devem, se possível, ser mais alargados. Na recolha dos dados deparou-se com uma variabilidade entre eles, isso é naturalmente um problema existente em processos produtivos complexos. Porém esse problema conjugado com os restritos limites de especificação, causam graves problemas no estudo e tratamento dos dados, e em alguns casos até causam a invalidade e ineficácia da interpretação dos mesmos.

Pode-se concluir que não foi encontrada uma relação entre a folga do forno e a ocorrência de fuga. Tal facto poderá ter a ver com a quantidade reduzida da amostra e o método de medição da fuga ou a método que foi aplicado para a medição da folga pode não ser um bom indicador de fuga.

No plano da frente conclui-se que a planidade varia, na maior parte das vezes, entre 0,5 e 1 mm. Encontrou-se o ponto com maior e menor variação e os pontos com cotas sempre acima e abaixo de 0. Não existem diferenças entre as zonas centrais e exterior do plano da frente. Foi possível reduzir os pontos a medir no plano da frente de 21 para 13 pontos.

O plano de assentamento das dobradiças possui na maioria dos fornos uma inclinação. Não foi possível reduzir o número de pontos a medir nesse plano.

No plano das laterais existe na maioria dos fornos uma inclinação do plano e que o lado direito é em geral mais baixo do que o lado esquerdo. Foi possível reduzir o número de pontos a medir nesse plano de 6 para 2 pontos.

No plano da porta o perímetro central ou interior da porta é constituído por material metálico e o perímetro exterior é constituído por material plástico, o tipo de material influenciar a planidade. O plano interior da porta é o que apresenta valores de cotas mais próximos de 0, já no plano exterior da porta os valores das cotas possuem variação de ponto para ponto e de forno para forno, não apresentando nenhuma tendência. Isso deve-se ao facto de no material plástico ser difícil garantir planidade. Foi possível reduzir o número de pontos do plano da porta de 21 para 12.

Foi, também, feita uma primeira abordagem ao comportamento global dos planos, bem como às zonas críticas que se situam acima ou abaixo do plano ideal. Concluiu-se que havia 4 pontos e 2 zonas de pontos críticas que deverão ser confirmadas em estudos posteriores.

Ao realizar este projecto foram encontradas uma série de ideias que seria importante e interessante aplicar num desenvolvimento futuro. A primeira seria sem dúvida recolher mais dados, para que se possa realizar um melhor tratamento possível dos dados, e encontrar possíveis variáveis que eventualmente não foram detectadas.

Uma dessas variáveis seria o Perfil de silicone, já que este influencia bastante o correcto fecho da porta, e que foi descoberto tardiamente. Essa será uma análise um pouco complicada, pois o perfil é um aro de silicone, o que dificulta qualquer tipo de medição dimensional. Poder-se-ia medir a sua maleabilidade e analisar a correcta aplicação no forno.

Ao fazer um estudo mais pormenorizado ao pontos e as relações entre eles, talvez fosse possível reduzir um número significativo de pontos a medir, tornando o processo de controlo e medição mais simples e eficaz.

Será importante, também, encontrar métodos de controlar e medir as fugas de vapor, que não fosse através da condensação, já que esta é incerta, definir zonas de medição e limites de especificação, considerar um número maior de fornos e com um determinado rigor.

Finalmente, considera-se importante a utilização de software apropriado de uma forma rotineira para analisar os dados no futuro.

Referências Bibliográficas

- [1] Alvelos, Helena. Notas de apoio às aulas de Gestão da Qualidade. Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, 2007.
- [2] Alvelos, Helena. Notas de apoio às aulas de Técnicas Avançadas de Gestão da Qualidade. Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, 2007.
- [3] Evans, James R., Lindsay, William M. The Management and Control of Quality. Thompson Learning, 2002.
- [4] Ferreira, A; SPSS - Manual de Utilização; Escola Superior Agrária de Castelo Branco, 1999.
- [5] González, P.; Werner, L., Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- [6] Guimarães, R.; Cabral, J., Estatística, 2ª Edição, McGraw-Hill, 2007.
- [7] Hair, J.; Joseph F., Multivariate data analysis, 5th ed, Upper Saddle River (NJ) : Prentice Hall, 1998.
- [8] Juran, J.M., Gryna, Frank M. Quality Planning and Analysis: From Product Development Through Use. UK: McGraw Hill, 2001.
- [9] Montgomery, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [10] Pereira, Z.; Requeijo J., Qualidade: Planeamento e controlo estatístico de processos, Editor Prefacio, 2008
- [11] Pestana, M; Gageiro, J., Análise de dados para ciências sociais: A complementariedade do SPSS, Edições Sílabo, 2000.
- [12] Pinto, A.; Parry, G., Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, <http://medstatweb.med.up.pt/>, acedido em 12/06/2008, 1997.
- [13] Rohlf, J.; Sokal, R., Statistical Tables, W. H. Freeman and Company, 1995.
- [14] Teixeira, T.; Mingatos, R.; Alvelos, H., Livro de Resumos – 14º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Universidade Nova de Lisboa, 2009.

- [15] Teixeira, T., Identificação de factores determinantes das fugas de radiação e do desalinhamento nos fornos microondas, Relatório de projecto de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Aveiro, 2009.
- [16] Vasconcelos, Ferreira. Notas de apoio às aulas de Métodos Quantitativos para Engenharia, Universidade de Aveiro, 1999.
- [17] Vasconcelos, Ferreira. Notas de apoio às aulas de Análise de Dados, Universidade de Aveiro, 2007.
- [18] Vieira, Joaquim, Controlo Estatístico do Processo, Editor APQ, 1ª edição, 2001
- [19] Vieira, P.; Azevedo L., Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, <http://medstatweb.med.up.pt/>, acedido em 12/06/2008, 1998.
- [20] Teka Portugal SA, <http://www.teka.com>, acedido em 18/10/2008, 2008.
- [21] Ciclo PDCA e Abordagem de Processo, www.huerta.com.br/iso_9000/pdca.htm, acedido em 20/03/2009, 2001.